Ю. И. БАРАНОВ



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ



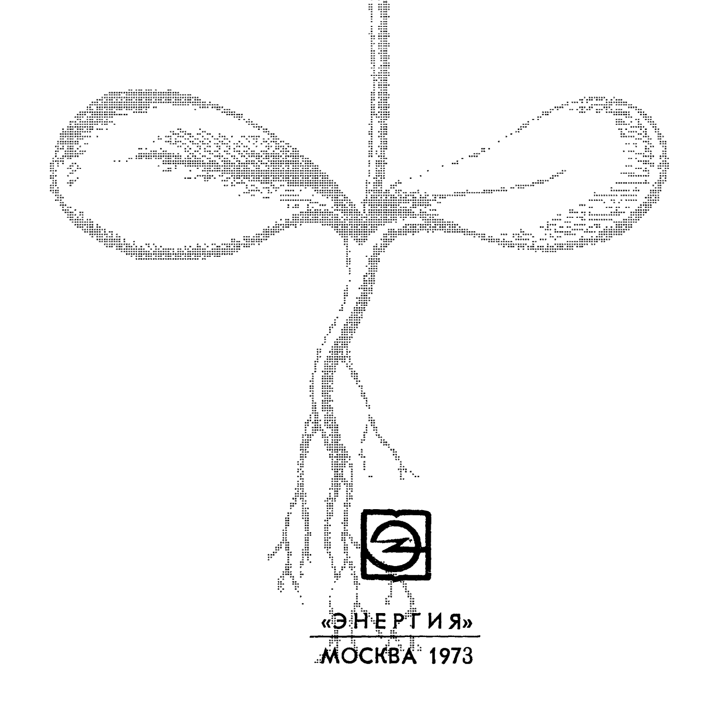
· ЭНЕРГИЯ ·


МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 836

Ю. И. БАРАНОВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973

6Ф2.08
Б 24
УДК 621.317.7

Баранов Ю. И.

Б 24 Измерительные приборы на транзисторах. М., «Энергия», 1973.

96 с. с ил. (Массовая библиотека. Вып. 836).

В книге приводятся описания различных измерительных приборов, выполненных на полупроводниковых элементах и имеющих повышенную точность. Даются подробные описания принципиальных схем и конструкций частотомера, измерителя емкости, электронного вольтметра, генератора сигналов, генератора импульсов и источника питания.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей.

Б $\frac{0345-289}{051(01)-73}$ 274—73 6Ф2.08

Юрий Иванович Баранов

Измерительные приборы на транзисторах

Редактор *Ю. В. Боковой*
Редактор издательства *Т. В. Жукова*
Обложка художника *Н. Т. Ярешко*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова*
Корректор *Н. С. Сафронова*

Сдано в набор 16/XI 1972 г. Подписано к печати 22/VIII 1973 г. Т-14414
Формат $84\times108^1/_{32}$ Бумага машиномелованная
Усл. печ. л. 5,04 Уч.-изд. л. 5,04
Тираж 50 000 экз. Цена 23 коп. Зак. 18

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы вместе с быстрым развитием электроники возросли сложность и разнообразие радиолюбительских конструкций. Чтобы наладить приемник, электромузыкальный инструмент, цифровой вольтметр, помимо соответствующих навыков необходимо иметь измерительную аппаратуру не только общего, но и специального назначения.

Существует мнение, что радиолюбитель способен любую свою конструкцию наладить только с помощью авометра. Как правило, такая точка зрения приводит к некачественной работе конструкции и отнимает много времени при настройке. Только с помощью измерительных приборов можно выяснить, в каком режиме работают радиолампы или транзисторы, определить частоту генерации, имитировать ту или иную форму сигнала на входе настраиваемого устройства, визуально наблюдать процессы, происходящие в электрических цепях.

В данной книге описывается ряд измерительных приборов, разработанных и изготовленных автором. При разработке приборов основное внимание обращалось на уменьшение погрешностей входных и выходных параметров, на расширение пределов измерения, повторяемость конструкций. Была поставлена также задача использовать недорогостоящие радиоэлементы и избегать излишнего усложнения схем. В то же время автор руководствовался правилом не бояться увеличения числа транзисторов или других элементов, если заметно повышались качественные показатели приборов и надежность их в работе.

При разработке измерительных приборов автор стремился по возможности унифицировать отдельные функциональные узлы. Так, например, все измерительные приборы имеют единую схему стабилизатора напря-

жения питания. Кроме того, некоторые приборы имеют одинаковое схемное решение тех или иных каскадов. Все это позволяет значительно упростить изготовление и настройку приборов, повысить их надежность.

Радиолюбителю, даже если он использует готовую схему, совершенно необходимо четко представлять себе ее работу. Это позволяет критически отнестись к конструкции и, исходя из заданных требований, модернизировать схему в нужном направлении, а также быстро находить ошибки, допущенные при монтаже. Поэтому при разборе принципиальной схемы автор уделял большое внимание подробному описанию методов измерения и физике работы всех функциональных узлов. Это позволит быстро разобраться в схеме того или иного прибора, правильно его смонтировать и наладить.

В книге приводится описание шести приборов, причем отдельные узлы их даны в нескольких вариантах, что дает возможность сделать выбор схемы того или иного узла, исходя из предъявляемых технических требований и наличия деталей.

Автор

ЧАСТОТОМЕР

Прибор предназначен для измерения частоты следования периодических сигналов синусоидальной и импульсной формы.

Диапазон измерения от 10 *гц* до 100 *кгц* перекрывается четырьмя поддиапазонами: 10—100 *гц*, 1—10 *кгц*, 100 *гц*—1 *кгц* и 10—100 *кгц*. Отсчет показаний осуществляется по стрелочному прибору. Шкала частот линейная, общая для всех поддиапазонов. Измеряемый сигнал может быть синусоидальным или импульсным, любой полярности. Разрешающая способность прибора при измерении частоты следования сигналов импульсной формы 1,5 *мксек*.

Рабочий диапазон входных напряжений составляет 200 *мв* — 100 *в*; входное сопротивление прибора не менее 50 *ком* на пределе 200 *мв* — 10 *в* и 500 *ком* на пределе 2—100 *в*.

Погрешность измерения частоты на всех поддиапазонах не превышает 2—3%. Для сохранения точности измерений при изменении окружающей температуры в приборе предусмотрены режимы калибровки и электрической установки нуля стрелочного индикатора.

Питание прибора — от сети переменного тока частотой 50 *гц*, с номинальными напряжениями 127 или 220 *в* ±10%. Изменение напряжения сети в указанных пределах не вызывает дополнительной погрешности прибора.

Электрическая принципиальная схема. В радиотехнике для измерения частот используются метод сравнения при помощи образцового генератора и осциллографа (метод фигур Лиссажу), метод моста и метод заряда и разряда конденсатора, применяемый для измерения нижней части радиочастотного диапазона.

Принцип действия предлагаемого частотомера основан на определении среднего значения тока в измери-

тельной цепи при прохождении по ней периодической последовательности прямоугольных импульсов, калиброванных по длительности и амплитуде. Устройством, формирующим такую последовательность импульсов, является ждущий мультивибратор.

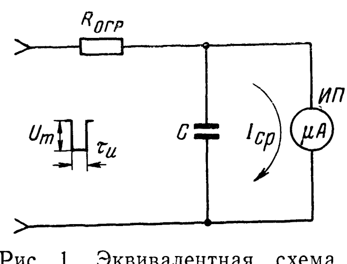


Рис. 1. Эквивалентная схема частотомера.

Если через измерительный прибор (рис. 1), в нашем случае магнитоэлектрический микроамперметр, проходит последовательность импульсов частоты f, каждый из которых, независимо от частоты следования, длительности $\tau_и$ и амплитуды U_m, то через микроамперметр в установившемся режиме пройдет ток

$$I_{ср} = \frac{\tau_и U_m f}{R_и},$$

где $R_и$ — сопротивление измерительной цепи. Отсюда видно, что при постоянных длительности и амплитуде импульсов ток через измерительную цепь пропорционален частоте. С повышением частоты увеличивается число импульсов, а следовательно, и среднее значение тока. Шкалу измерительного прибора можно проградуировать непосредственно в значениях частоты, причем зависимость угла отклонения стрелки микроамперметра от частоты является линейной.

Принципиальная электрическая схема частотомера приведена на рис. 2. Схема построена на 11 транзисторах и состоит из следующих функциональных узлов: входного формирующего устройства, включающего в себя усилитель переменного тока, фазоинвертор и триггер Шмидта, формирователя калиброванных импульсов и источника питания.

Входное формирующее устройство (транзисторы T_1—T_6) предназначено для преобразования входного сигнала в однополярные импульсы с крутыми фронтами, амплитуда и форма которых не зависят от параметров входного сигнала.

На формирующее устройство входной сигнал поступает через аттенюатор, выполненный на резисторах R_1, R_2 и конденсаторах C_2, C_3, который представляет собой компенсированный RC-делитель с коэффициентом деле-

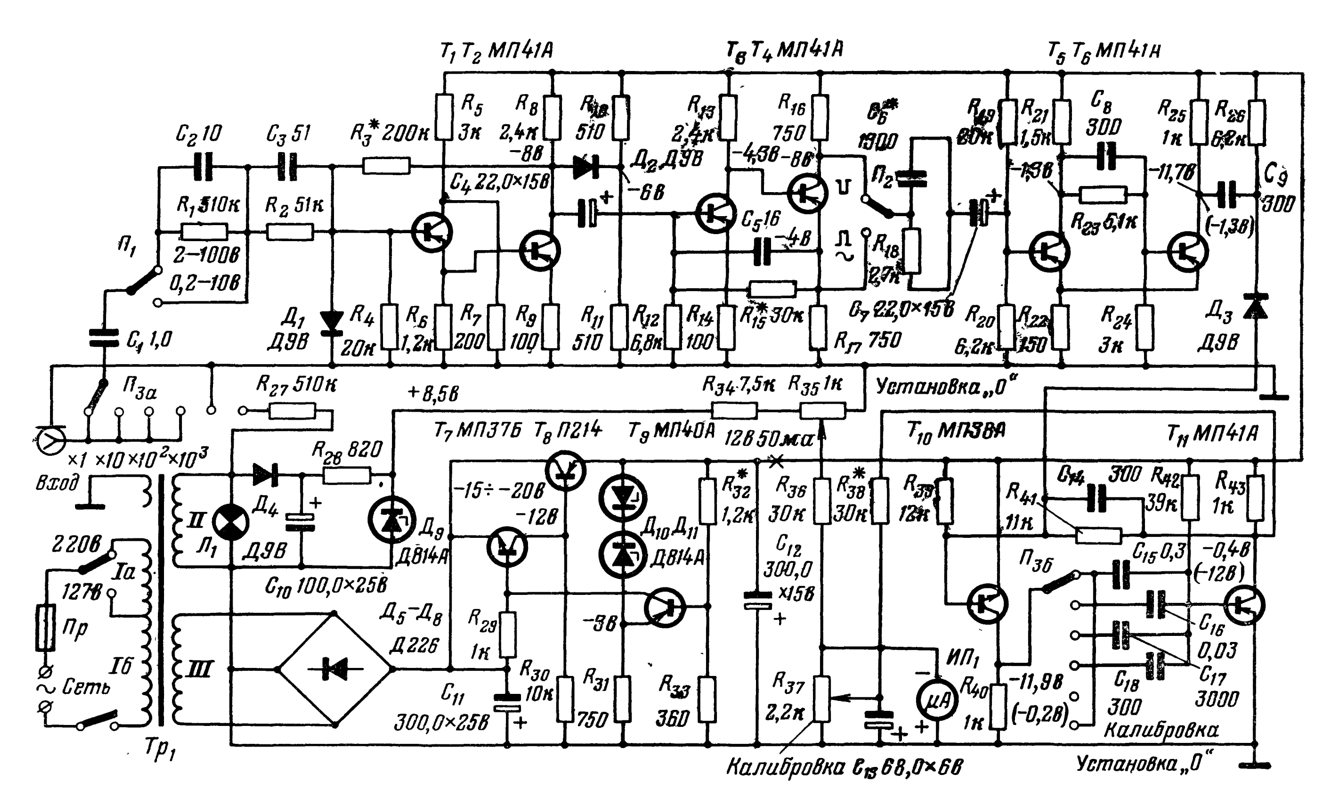


Рис. 2. Принципиальная схема частотомера.

ния 1 : 1 и 1 : 10. Изменение пределов рабочих напряжений (200 *мв* — 10 *в* и 2—100 *в*) осуществляется переключателем $П_1$. Для обеспечения большого входного сопротивления резисторы аттенюатора R_1, R_2 включены последовательно в цепь базы транзистора T_1. Наличие последовательно включенного сопротивления позволяет осуществить эффективное ограничение уровня входного сигнала. Входное сопротивление частотомера соответственно возрастрает на пределе 2—100 *в*. Переключатель $П_{3а}$ предназначен для установления необходимого режима работы прибора: измерения частоты, установки нуля или калибровки.

Входной сигнал ограничивается по амплитуде диодно-транзисторным ограничителем (диод $Д_1$ и *n-p* переход транзистора T_1) и поступает на усилитель переменного тока, который усиливает входной сигнал до величины, необходимой для надежной работы формирователя запускающих импульсов — триггера Шмидта. Усилитель состоит из эмиттерного повторителя T_1 и двух каскадов усиления T_2, T_3. Каскады на транзисторах T_1, T_2 охвачены параллельной ООС по напряжению (резистор R_3). Кроме того, каскад на транзисторе T_2 имеет местную последовательную ООС по току (резистор R_9). Введение ООС и включение на входе эммитерного повторителя позволило повысить предельную частоту усиления каскада. Для ограничения амплитуды сигнала во входном эмиттерном повторителе коллекторное напряжение снижено до 1 *в*. Для предотвращения насыщения транзистора T_2 применена диодная фиксация коллекторного напряжения ($Д_2$, R_{10}, R_{11}).

Второй каскад усиления T_3 и следующий за ним фазоинвертор T_4 имеют непосредственную связь. Оба каскада охвачены параллельной ООС по току через резистор R_{15}. Конденсатор C_5, шунтирующий этот резистор, играет роль форсирующей емкости, которая несколько сглаживает послеимпульсные выбросы.

Фазоинвертор T_4 предназначен для обеспечения необходимого режима работы частотомера при измерении частоты следования импульсных сигналов положительной или отрицательной полярности. Он представляет собой каскад с раздельной нагрузкой, выходные напряжения которого, снимаемые с коллектора и эмиттера (R_{16} и R_{17}). равны по амплитуде и противоположны по фазе. Такое свойство фазоинверсного каскада позволяет обеспечить

на входе триггера Шмидта T_5, T_6 запускающие импульсы только положительной полярности независимо от полярности импульсов, поступающих на вход частотомера. Выбор необходимой полярности осуществляется переключателем $П_2$.

Для формирования запускающих импульсов в схеме частотомера использован триггер с эмиттерной связью (T_5, T_6), позволяющий сохранить постоянство амплитуды и длительности фронтов входных импульсов во всем диапазоне измеряемых частот. Триггер с эмиттерной связью — это пороговое устройство, переключение которого происходит при определенной амплитуде входного сигнала, причем скорость срабатывания не зависит от скорости нарастания входного сигнала. Режим триггера выбран таким образом (транзистор T_5 открыт напряжением смещения), что он срабатывает только от сигналов положительной полярности. На конденсаторе C_7 выделяется переменный сигнал, положительная полуволна которого используется для управления триггером.

Триггер Шмидта работает следующим образом. При отсутствии входного сигнала транзистор T_5 открыт, а транзистор T_6 закрыт. Таким образом, на выходе триггера (коллектор T_6) потенциал практически равен напряжению питания. Если на базу транзистора T_5 подать положительный потенциал, то он начинает закрываться. Так как транзистор T_6 связан с транзистором T_5 по постоянному току, то он соответственно открывается. Возникшее при этом падение напряжения, вызванное растущим током эмиттера транзистора T_6, на резисторе обратной связи R_{22} еще больше запирает транзистор T_5. Вследствие этого процесс развивается лавинообразно и происходит опрокидывание триггера во второе устойчивое состояние: транзистор T_5 закрыт, транзистор T_6 насыщен. При этом на выходе триггера будет незначительный потенциал, равный падению напряжения на резисторе R_{22} и эмиттерном переходе транзистора T_6. Если снять положительный потенциал с базы транзистора T_5, то процесс будет протекать в обратном порядке.

Для повышения входного сопротивления триггера перед разделительным конденсатором C_7 включен резистор R_{18}. Конденсатор C_6 предназначен для дополнительной коррекции амплитудно-частотной характеристики всего канала входного формирующего устройства на высокочастотном участке 4-го поддиапазона.

Каждый поддиапазон измерения имеет определенную длительность калиброванных импульсов, которая составляет примерно половину периода наивысшей частоты. Для получения прямоугольных импульсов, калиброванных по длительности и амплитуде, в схеме частотомера применен ждущий мультивибратор, собранный на транзисторах T_{10} и T_{11} различной проводимости. Транзистор T_{11} открыт, так как через его базу протекает ток смещения, обеспечиваемый резистором R_{42}. Открытый транзистор T_{11} в свою очередь обеспечивает ток смещения транзистора T_{10} через цепь обратной связи (резистор R_{41}). При таком состоянии транзисторов левая (по схеме) обкладка конденсатора связи C_{15} оказывается подключенной через открытый транзистор T_{10} к «минусу» источника питания, а правая — к «плюсу» (корпусу прибора) через прямосмещенный переход база — эмиттер транзистора T_{11}.

При поступлении запускающего импульса (отрицательной полярности) транзистор T_{10} закрывается. Левая обкладка конденсатора C_{15} при этом оказывается подключенной через резистор R_{40} к корпусу прибора. Таким образом, между базой и эмиттером транзистора T_{11} будет действовать полное напряжение заряженного конденсатора C_{15} (примерно 12 *в*), причем к базе будет приложен его положительный потенциал. Транзистор T_{11} закроется, и потенциал на его коллекторе станет равным напряжению питания. Этим самым обесточивается цепь смещения транзистора T_{10}, который останется в закрытом состоянии и после окончания действия запускающего импульса.

Квазиустойчивое состояние продолжается до тех пор, пока не разрядится конденсатор C_{15} (через резисторы R_{40}, R_{42} и источник питания). Далее наступит перезаряд конденсатора от источника питания через резистор R_{42}. Появление на правой обкладке конденсатора даже небольшого отрицательного потенциала откроет транзистор T_{11}. Напряжение на коллекторе этого транзистора снизится и откроет транзистор T_{10}. Наличие обратной связи через резистор R_{41} делает процессы возбуждения мультивибратора и возвращения его в исходное состояние лавинообразными.

Запускающие импульсы поступают на вход ждущего мультивибратора через дифференцирующую цепочку, состоящую из элементов C_9, R_{26}. Дифференцирующая

цепочка служит для преобразования входного прямоугольного сигнала в остроконечные кратковременные импульсы разной полярности. Сохраняя посуществу крутой фронт запускающих прямоугольных импульсов, остроконечные импульсы спадают до нуля настолько быстро, что не влияют на последующую работу запускаемого устройства — ждущего мультивибратора. Времязадающими элементами мультивибратора являются резистор R_{42} и конденсаторы C_{15} — C_{18}, емкость которых определяет поддиапазон измеряемой частоты. Изменение поддиапазона осуществляется переключателем $П_{3б}$. Мультивибратор формирует импульсы напряжения прямоугольной формы с амплитудой, близкой к напряжению питания и крутыми фронтами. Указанные параметры импульсов остаются неизменными при изменении частоты запускающих импульсов.

Запуск мультивибратора осуществляется отрицательным импульсом, соответствующим срезу импульса входного прямоугольного сигнала. Для предотвращения возвращения мультивибратора в исходное состояние положительным импульсом, соответствующим фронту входного импульса, в схему введен диод $Д_3$.

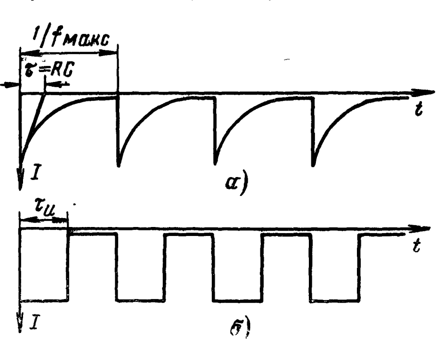


Рис. 3. Выходной ток конденсаторного частотомера (*а*) и частотомера с прямоугольной формой калиброванных импульсов (*б*) на высшей частоте поддиапазона.

С коллектора транзистора T_{11} калиброванные импульсы прямоугольной формы поступают через ограничительный резистор R_{38} на прибор $ИП_1$. Значение среднего тока, измеренного микроамперметром, пропорционально частоте. Существенное достоинство такого построения измерительной цепи состоит в том, что преобразование «частота—выходной ток» осуществляется без применения на выходе формирователя импульсов зарядно-разрядного конденсатора, как это принято в классической схеме конденсаторного частотомера. К недостаткам конденсаторного преобразования частоты следует отнести трудность получения

большого выходного тока, особенно в схемах с маломощными транзисторами, так как для получения линейной характеристики преобразования выбирают постоянную времени $\tau=RC$ в 3—5 раз меньше периода наивысшей частоты. Использование для формирования тока в измерительной цепи прямоугольных импульсов позволяет увеличить выходной ток в 2—3 раза при линейной характеристике преобразования (рис. 3).

Конденсатор C_{13} предназначен для демпфирования колебаний стрелки микроамперметра при измерении на нижнем участке поддиапазона 10—100 *гц*.

Из-за остаточного напряжения (0,2—0,5 *в*) между эмиттером и коллектором транзистора T_{11} в открытом состоянии через микроамперметр протекает начальный ток, вызывающий постоянное отклонение стрелки прибора и увеличивающий тем самым погрешность показаний на нижнем участке шкалы. Для устранения этого недостатка на микроамперметр через ограничительный резистор R_{36} подается стабилизированное положительное смещение, компенсирующее остаточное отрицательное напряжение открытого транзистора T_{11}. Стабилизатор собран на опорном диоде $Д_9$. Установка нуля осуществляется потенциометром R_{35}.

В частотомере предусмотрена калибровка шкалы стрелочного прибора по частоте питающей сети 50 *гц*, что позволяет проводить периодическую калибровку на первом поддиапазоне в середине шкалы с погрешностью, не превышающей $\pm0{,}5\%$. Продолжительные измерения показали, что нестабильность частоты сети не выходит за эти пределы. На остальных поддиапазонах показания измерительного прибора корректируются автоматически, так как шкала единая. Чувствительность микроамперметра при калибровке изменяется с помощью потенциометра R_{37}.

Блок питания обеспечивает необходимым напряжением всю схему частотомера и состоит из силового трансформатора $Тр_1$, выпрямителей $Д_4$ и $Д_5—Д_8$, стабилизаторов напряжения смещения (стабилитрон $Д_9$) и напряжения питания схемы (транзисторы $T_7—T_9$). Первый стабилизатор параметрического типа. Схема второго стабилизатора на напряжение 12 *в* представляет собой компенсационный стабилизатор с последовательно включенным регулирующим элементом. Его работа основана на принципе сравнения части выходного напря-

жения с падением напряжения на опорном элементе: любая разность между этими напряжениями усиливается и используется для управления последовательным регулирующим элементом (T_8).

Воздействие на регулирующий орган осуществляется через цепь управления, в которую входят делитель выходного напряжения R_{32}, R_{33}, источник опорного напряжения $Д_{10}$, $Д_{11}$, сравнивающий элемент T_9 и дополнительный усилитель T_7. Применение в схеме стабилизатора дополнительного усилителя позволяет повысить коэффициент стабилизации до 250—300. При этом обеспечиваются малая величина пульсаций и практически неизменное выходное напряжение стабилизатора. Последнее особенно важно, так как точность измерения прибора прямо зависит от стабильности напряжения питания.

Для компенсации положительного температурного коэффициента напряжения (ТКН) опорного стабилитрона $Д_{10}$ последовательно с ним включен в прямом направлении стабилитрон $Д_{11}$, имеющий в этом режиме отрицательный ТКН. Это повышает температурную стабильность выходного напряжения стабилизатора.

Конструкция и детали. Прибор оформлен в металлическом ящике размерами 210×150×180 *мм* с вертикальной лицевой панелью (рис. 4). Кожух выполнен из дюралюминия толщиной 1,5, а съемная передняя панель — 3 *мм*.

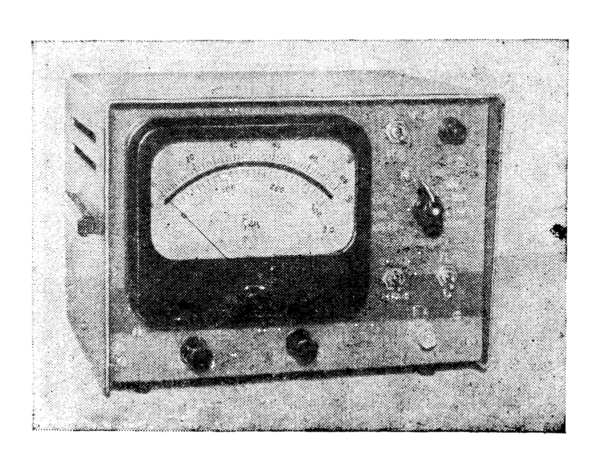


Рис. 4. Внешний вид частотомера.

На лицевой панели расположены: микроамперметр типа М265 или М24 класса точности 1—1,5 и чувствительностью 100—300 *мка* (шкала проградуирована в значениях частоты 0—100 *гц*), потенциометры установки нуля R_{35} и калибровки R_{37}, входной коаксиальный разъем, переключатели аттенюатора $П_1$, полярности входных импульсов $П_2$ и переключатель диапазонов измерения $П_3$, а также тумблер включения сети $Вк_1$ и сигнальная лампа $Л_1$. Переключатель напряжения сети расположен внутри прибора на монтажной плате рядом с трансформатором, что исключает случайное переключение.

Детали частотомера смонтированы на двух гетинаксовых платах толщиной 2 *мм* и размером 190×135 *мм*. На одной плате размещен источник питания, на другой — входное формирующее устройство и ждущий мультивибратор. С помощью металлических стоек платы крепятся параллельно между собой и лицевой панелью. Аттенюатор R_1, R_2, C_2, C_3 смонтирован непосредственно на переключателе $П_1$.

В измерительном тракте частотомера, включающего в себя транзисторы T_1—T_6, T_{10} и T_{11}, могут быть применены маломощные низкочастотные германиевые транзисторы соответствующего типа проводимости, имеющие граничную частоту усиления $f_\alpha > 1$ *Мгц*, статический коэффициент усиления по току $\beta_{ст} > 30$ и допустимое напряжение коллектор-эмиттер $U_{к.э} > 15$ *в*. В качестве транзисторов T_7 и T_9, входящих в состав блока питания, можно использовать любые низкочастотные транзисторы с $\beta_{ст} > 30$ и $U_{к.э} > 15$ *в*. Транзистор T_8 может быть любым из серии П213-П217. Он устанавливается на небольшом радиаторе. Вместо стабилитрона $Д_{11}$ (Д814А) можно применить какой-либо кремниевый диод, например Д226.

Обмотки трансформатора $Тр_1$ источника питания наматываются на тороидальном магнитопроводе МТ-10, имеющем наружный и внутренний диаметры 50 и 32 *мм* соответственно. Марка стали Э330. Сетевая обмотка имеет 4 000 витков провода ПЭВ-2 0,13 с отводом от 2 300 витка. Обмотка *II* имеет 290 витков, обмотка *III*— 380 витков провода ПЭВ-2 0,27. После сетевой обмотки в один слой наматывается экранирующая обмотка проводом ПЭВ-2 0,15.

Настройка и калибровка прибора. После тщательной проверки монтажа можно приступить к настройке и калибровке частотомера. При этом необходимы следующие

измерительные приборы: авометр, осциллограф и звуковой генератор (любых типов). Следует отметить, что для получения заданной погрешности частотомера не более 3% необходимо, чтобы погрешность шкалы частот контрольного звукового генератора не превышала 0,5—1,5%. При калибровке прибора в данном случае удобно пользоваться электронно-счетным частотомером или кварцевым калибратором.

Настройка начинается с проверки работоспособности блока питания. При правильно выполненном монтаже и исправных деталях стабилизатор (транзисторы T_7—T_9) сразу же начинает работать. Настройка сводится к подбору резистора R_{32}, с помощью которого устанавливается выходное напряжение 12 *в*. Пределы регулирования положительного смещения потенциометром R_{35} должны составлять примерно 0—1 *в* при напряжении на опорном диоде $Д_9$ 7—8,5 *в*.

Далее необходимо проверить режимы работы транзисторов T_1—T_6 и T_{10}, T_{11} по постоянному току, значения которых отмечены на принципиальной схеме у соответствующих электродов. Если для транзисторов T_1, T_2 и T_3, T_4 отклонение от указанных потенциалов на электродах превышает 20%, то необходимые режимы устанавливаются подбором резисторов R_3 и R_{15}.

Транзисторы T_5, T_6 и T_{10}, T_{11} работают в ключевом режиме. В статическом состоянии транзисторы T_5, T_{10} и T_{11} открыты и насыщены, транзистор T_6 — закрыт. Функционирование этих узлов можно проверить следующим образом. Базу транзистора T_5 необходимо соединить с общей шиной (корпусом прибора). В этом случае транзистор T_5 закрывается, а возникший на его коллекторе отрицательный потенциал открывает транзистор T_6. Это указывает на нормальную работу триггера Шмидта. Если такую же операцию осуществить с мультивибратором, соединив базу транзистора T_{11} с корпусом прибора, то он перейдет в режим отсечки, отключив тем самым цепь смещения (резистор R_{41}) транзистора T_{10}, который тоже закроется. Распределение потенциалов для того и другого случаев отмечены на принципиальной схеме в скобках.

Для проверки работы частотомера по переменному току на его вход подают от звукового генератора сигнал напряжением 0,5 *в* и частотой 10 *кгц*. При этом переключатель $П_1$ аттенюатора необходимо установить на предел «200 *мв* — 10 *в*», $П_2$ — в положение для измерения

сигналов синусоидальной формы, а $П_3$ — в положение, соответствующее диапазону 1—10 *кгц* «$\times 10^2$». Осциллограммы переменных напряжений для этого случая показаны на рис. 5.

После этого можно приступить к калибровке частотомера. Первоначально необходимо произвести установку нуля индикатора и подобрать чувствительность измерительной цепи (предварительно перед включением прибора в сеть с помощью механического корректора выставить стрелку микроамперметра на нуль). Для этого, установив переключатель $П_3$ в положение *Установка 0,*

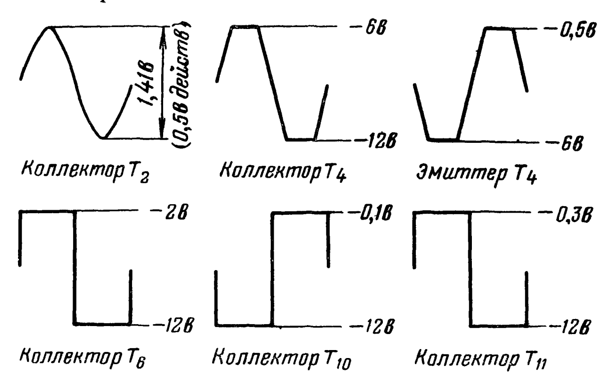


Рис. 5. Осциллограммы напряжений на электродах транзисторов частотомера.

потенциометром R_{35} установить стрелку измерительного прибора на нулевую отметку. Далее установить потенциометр R_{37} *Калибровка* в среднее положение, а переключатель $П_3$ в положение, соответствующее первому поддиапазону 10—100 *гц* «$\times 1$», и на входной разъем частотомера подать от звукового генератора сигнал напряжением 1—2 *в* и частотой 50 *гц*. В зависимости от чувствительности примененного микроамперметра подобрать сопротивление резистора R_{38} так, чтобы стрелка измерительного прибора была на отметке 50. На принципиальной схеме значение резистора R_{38} дано для случая применения микроамперметра чувствительностью 100 *мка*. Затем следует еще раз произвести коррекцию нуля, так как изменение сопротивления резистора R_{38} приводит к некоторому смещению стрелки индикатора от нулевого положения. Окончательная калибровка производится потенциометром R_{37} *Калибровка*. Если переключателем $П_3$

перевести частотомер в режим калибровки (по частоте сети 50 *гц*), то стрелка измерительного прибора должна остановиться на отметке 50.

Устанавливая затем переключатель $П_3$ поочередно в положения «×10» (100 *гц*—1 *кгц*), «×10²» (1—10 *кгц*) и «×10³» (10—100 *кгц*) и, подавая на вход частотомера сигналы соответственно частотой 500 *гц*, 5 и 50 *кгц*, подбором емкости конденсаторов C_{16}, C_{17} и C_{18} установить стрелку микроамперметра в каждом случае точно на отметку 50. На этом калибровку частотомера можно считать законченной.

В заключение необходимо проверить чувствительность прибора на низкой (1 000 *гц*) и высокой (100 *кгц*) частотах. Если частотомер не обеспечивает заданной чувствительности на частоте 1 000 *гц* (коэффициент усиления входного формирующего устройства мал), надо несколько уменьшить сопротивление резисторов R_9 и R_{14}. На частоте 100 *кгц* чувствительность корректируется конденсатором C_6.

Правила работы с прибором. После включения прибора и двухминутного прогрева перед началом работы необходимо для повышения точности измерений произвести установку нуля и калибровку.

Следует иметь в виду, что при поступлении на вход частотомера импульсных сигналов большой скважности, которые имеют послеимпульсные выбросы, наводки и пульсации, соизмеримые с чувствительностью входного устройства, рекомендуется пользоваться аттенюатором.

Для обеспечения достоверных показании частотомера при измерении частоты следования сигналов импульсной формы следует точно соблюдать правильность установки полярности переключателем $П_2$.

Если примерное значение частоты неизвестно, измерение следует начинать с верхнего поддиапазона (10—100 *кгц*).

Упрощенный вариант входного устройства. Если частотомер предполагается использовать только для исследования синусоидальных сигналов и сигналов прямоугольной формы со скважностью не более 3—4, входное формирующее устройство можно упростить. Схема этого варианта предложена на рис. 6.

Аттенюатор частотомера оставлен без изменения, а часть формирующего устройства основной схемы, включающая в себя транзистор T_1—T_4, заменена двух-

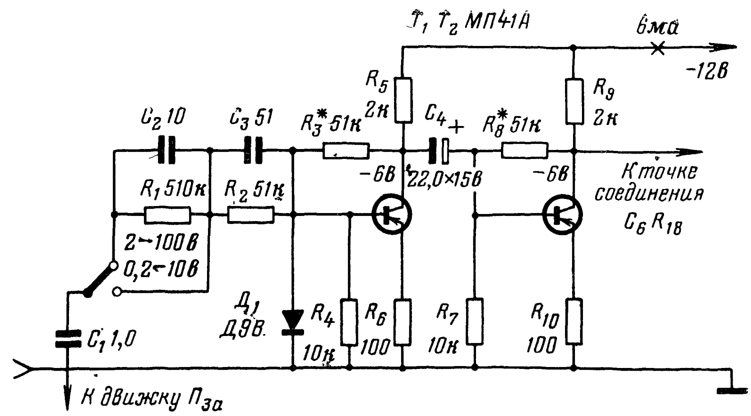


Рис. 6. Принципиальная схема упрощенного входного устройства частотомера.

каскадным усилителем переменного тока с емкостной связью. Для обеспечения устойчивой работы и для увеличения предельной частоты усиления каскады (транзисторы T_1 и T_2) охвачены ООС по напряжению (резисторы R_3, R_8) и по току (R_6, R_{10}).

Налаживание двухкаскадного усилителя сводится к проверке и установлению, если это требуется, необходимых режимов транзисторов T_1 и T_2 соответственно подбором резисторов R_3 и R_8. Значение режимов отмечечы в схеме на рис. 6.

Чувствительность частотомера в случае использования этого варианта остается прежней. Переключатель полярности входных сигналов $П_2$ из схемы исключается.

Расширение частотного диапазона. Диапазон измерения частотомера можно расширить до 1 *Мгц*, добавив еще один поддиапазон 100 *кгц* — 1 *Мгц* «×10⁴», который охватывает часть радиочастотного диапазона и существенно расширяет технические возможности прибора.

Для осуществления этого варианта используется принцип снижения частоты исследуемого сигнала f_c с помощью делителя частоты до значения $f_c/10$, при котором формирователь калиброванных импульсов начинает работать на поддиапазоне 10—100 *кгц*. Делитель частоты включается в разрыв цепи связи между триггером Шмидта и ждущим мультивибратором. Для формирования импульсов, необходимых для запуска делителя ча-

стоты, используется прежняя схема формирующего устройства (транзисторы T_1—T_6), в которой транзисторы заменены на более высокочастотные.

В качестве делителя частоты на 10 применена делительная декада, принципиальная схема которой приведена на рис. 7, построенная на основе двоичных элементов в качестве которых применены симметричные триггеры на транзисторах, работающие в насыщенном режиме. Максимальная скорость пересчета 1 *Мгц*. В состав делительной декады входят четыре триггера, построенные на транзисторах T_{13}—T_{14}, T_{15}—T_{16}, T_{17}—T_{18} и T_{19}—T_{20}. Для осуществления пересчета на 10 (четыре триггера делят на 16) применены прямая и обратная связи. Первые три триггера работают со счетным входом, четвертый — с раздельными входами. Параметры первого и четвертого триггеров расчитаны на бо́льшее быстродействие, чем второй и третий, так как на первый триггер подаются входные импульсы, а четвертый должен с минимальной задержкой выдавать сигнал блокировки второго триггера после поступления на декаду восьмого импульса. В табл. 1 указаны состояния триггеров в зависимости от количества импульсов, поданных на вход декады. В этой таблице «0» соответствует насыщенному состоянию триггеров (на коллекторе 0,1—0,5 *в*), «1» — закрытому (на коллекторе 10,5—11,5 *в*).

Как видно из табл. 1, первый импульс, поступающий на вход декады, опрокидывает первый триггер. При пос-

Таблица 1

Номер входного импульса	Триггер I		Триггер II		Триггер III		Триггер IV	
	T_{13}	T_{14}	T_{15}	T_{16}	T_{17}	T_{18}	T_{19}	T_{20}
Исходное состояние	0	1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	1	0	1
2	0	1	1	0	0	1	0	1
3	1	0	1	0	0	1	0	1
4	0	1	0	1	1	0	0	1
5	1	0	0	1	1	0	0	1
6	0	1	1	0	1	0	0	1
7	1	0	1	0	1	0	0	1
8	0	1	0	1	0	1	1	0
9	1	0	0	1	0	1	1	0
10	0	1	0	1	0	1	0	1

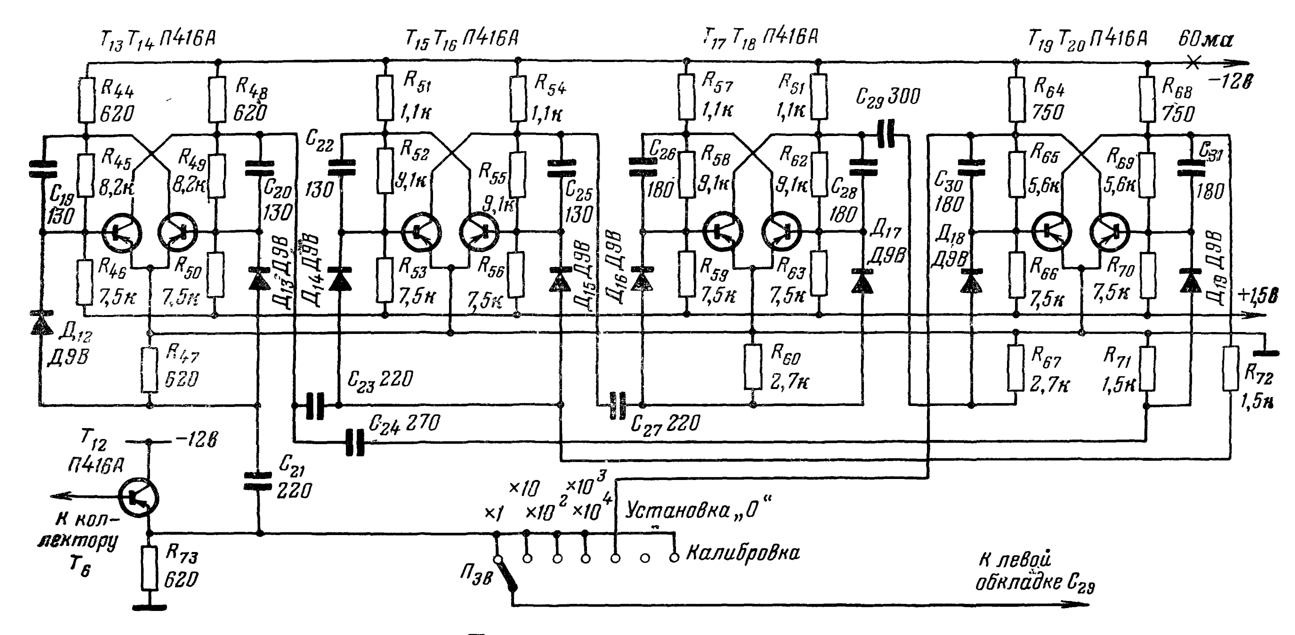


Рис. 7. Принципиальная схема делителя частоты.

туплении на вход второго входного импульса опрокидывается опять первый триггер, а сформированный на коллекторе транзистора T_{13} положительный перепад напряжения перебрасывает второй триггер, причем этот переброс возможен, так как с коллектора триода T_{19} четвертого триггера поступает разрешающий (нулевой) потенциал на вход второго триггера. Как видно из таблицы, декада работает как обычный двоичный делитель частоты до прихода восьмого импульса. При поступлении восьмого импульса опрокидываются все триггеры, после чего с коллектора транзистора T_{19} четвертого триггера поступает запрещающий потенциал на вход второго триггера.

Девятый входной импульс перебрасывает только первый триггер, десятый входной импульс опрокидывает снова первый триггер, причем сформированный на коллекторе триода T_{13} положительный перепад не перебрасывает второй триггер, так как на его входе имеется запрещающий потенциал. Этот положительный перепад опрокидывает сразу четвертый триггер, вследствие чего снимается запрет со входа второго триггера. Таким образом, после подачи на вход декады 10 запускающих импульсов, все транзисторы возвращаются в состояние, которое было принято за исходное. При дальнейшем поступлении импульсов запуска картина повторяется, а частота следования импульсов на выходе декады получается в 10 раз меньше частоты следования входных импульсов.

Отрицательные перепады напряжения, возникающие на коллекторе транзистора T_{20}, проходят далее через переключатель $П_{зв}$ и дифференцирующую цепочку C_9, R_{26} на мультивибратор T_{10}, T_{11}. Дальнейшее преобразование сигнала осуществляется прежним образом (см. рис. 4).

Для увеличения нагрузочной способности триггера на высоких частотах делительная декада подсоединяется к нему через эмиттерный повторитель (транзистор T_{12}).

При введении поддиапазона 100 *кгц* — 1 *Мгц* необходима дополнительная плата в переключателе $П_{зв}$ (рис. 7). При работе на других пределах сигнал с эмиттера транзистора T_{12} поступает на ждущий мультивибратор непосредственно через переключатель $П_{зв}$, минуя делительную декаду.

Транзисторы T_1—T_6, T_{12}—T_{20} могут быть типов П416А, ГТ308Б (В), П403. Значение номиналов и параметров остальных элементов схемы остаются прежними, за исключением конденсаторов C_2, C_3, C_6 и C_8, емкости

которых изменяются соответственно на следующие: 2, 6, 300 и 100 *пф*.

Делительная декада монтируется на отдельной плате такого же размера, как и предыдущие. Напряжение смещения 1,5 *в*, необходимое для питания базовых цепей транзисторов делительной декады, получается следующим образом. Последовательно с опорным стабилизатором $Д_9$ (см. рис. 2) включаются дополнительно два кремниевых диода в прямом направлении. Диоды включаются между общей шиной и диодом $Д_9$ (рис. 8). На

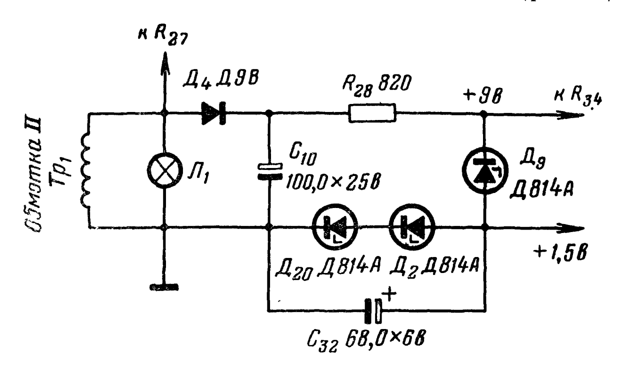


Рис. 8. Принципиальная схема источника питания для получения положительного смещения +9 и +1,5 *в*.

каждом диоде создается падение напряжения примерно 0,65—0,75 *в*. Таким образом, общее падение напряжения относительно корпуса прибора на обоих прямосмещенных диодах составит 1,3—1,5 *в*, что вполне достаточно для питания цепей смещения делительной декады. В качестве дополнительных диодов можно применить какие-либо кремниевые стабилитроны или диоды, например, Д814А или Д226.

Налаживание делительной декады совместно с частотомером производится следующим образом. Вначале следует подготовить прибор для измерения частоты синусоидального сигнала и подать на его вход от звукового генератора сигнал напряжением 1—2 *в* частотой 10 *кгц*. С помощью осциллографа проверить форму импульсов на выходе каждого триггера (коллекторы транзисторов $Т_{13}$, $Т_{15}$, $Т_{17}$ и $Т_{19}$). Осцилограммы процессов в делительной декаде для данного случая изображены на рис. 9.

В случае, если декада делит неточно, необходимо подобрать сопротивление резистора R_{72} (в большинстве случаев сопротивление 1,5 *ком* является оптимальным).

Затем необходимо проверить работоспособность прибора на частоте 1 *мгц*. Если на этой частоте не обеспечивается заданная чувствительность (200 *мв* действ.), следует несколько увеличить емкость конденсатора C_6.

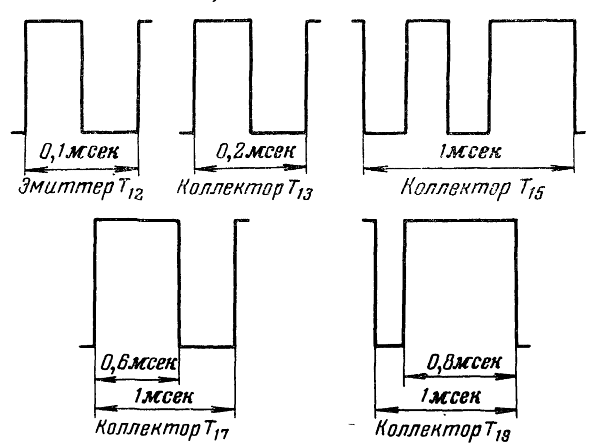


Рис. 9. Осциллограммы напряжений на электродах транзисторов делителей частоты.

Разрешающая способность частотомера в этом варианте при измерении сигналов импульсной формы не ниже 0,2—0,3 *мксек*.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЕМКОСТИ

Одной из самых распространенных деталей в радиоаппаратуре является конденсатор. В радиолюбительской практике чаще всего применяются конденсаторы с допуском ±10 и 20%. А такие конденсаторы, как, например, КЛС, КМ-6 групп Н30 и Н90, имеют еще больший допуск на номинал.

При конструировании различных электронных устройств, содержащих частотнозадающие, времязадающие и другие цепи, в состав которых входят конденсаторы, часто требуется высокая точность подбора емкости. Поэтому знание емкости применяемых конденсаторов с более высокой точностью, чем допуск на номинал, позволя-

ет свести к минимуму время, необходимое для настройки той или иной радиоаппаратуры, с одновременным улучшением качественных показателей.

Описываемый прибор служит для измерения емкости конденсаторов от 200 *пф* до 2 *мкф*. Число поддиапазонов четыре: 200—2 000 *пф*, 2 000 *пф*—0,02 *мкф*, 0,02—0,2 *мкф*, 0,2—2 *мкф*. Шкала прибора линейная, общая для всех поддиапазонов.

Погрешность измерения не превышает 2—3%. Измеритель емкости имеет режим калибровки, позволяющий сохранить точность измерения при изменении окружающей температуры в диапазоне от 10 до 35 °С.

Питание прибора — от сети частотой 50 *гц*, с номинальными напряжениями 127 или 220 *в* ±10%. Изменение напряжения в указанных пределах не вызывает дополнительной погрешности.

Электрическая принципиальная схема. В радиотехнической практике для определения емкости конденсаторов используются несколько способов. Например, метод моста, основанный на принципе сравнения, резонансный метод, метод заряда и разряда конденсатора. Последний способ нашел широкое распространение в радиолюбительских конструкциях.

Принцип действия описываемого измерителя емкости основан на зависимости длительности импульсов ждущего мультивибратора от времязадающей емкости.

Если через измерительный прибор (рис. 1), например, магнитоэлектрический микроамперметр, проходит последовательность импульсов определенной частоты f и амплитуды U_m, а длительность импульсов $\tau_и$, сформированных ждущим мультивибратором, есть функция от времязадающих емкости и сопротивления

$$\tau_и = \Phi(CR),$$

то через микроамперметр пройдет ток

$$I = \frac{\tau_и U_m f}{R_и} = \frac{\Phi(CR) U_m f}{R_и},$$

где C и R — времязадающие элементы ждущего мультивибратора; $R_и$ — сопротивление измерительной цепи.

Отсюда видно, что при постоянных частоте и амплитуде импульсов и неизменном времязадающем сопротивлении ток через измерительную цепь зависит от емкости,

которая в данном случае является измеряемой. При изменении емкости изменяется длительность импульсов, а следовательно, и среднее значение тока через микроамперметр. При линейной зависимости длительности импульсов от времязадающей (измеряемой) емкости зависимость тока от емкости получается линейной. Шкалу измерительного прибора можно проградуировать непосредственно в значениях емкости.

Измеритель емкости (рис. 10) построен на 10 транзисторах и состоит из следующих основных узлов: задающего генератора фиксированных частот, формирователя запускающих импульсов, преобразователя «емкость — длительность импульса», измерительной цепи и источника питания.

Задающий генератор (транзисторы T_1—T_3) собран на основе трехкаскадного усилителя с непосредственной связью, работающего в режиме *А*, и содержит две цепи обратной связи между входным T_1 и выходным T_3 каскадами. Первая цепь ПОС, образованная из элементов R_3, R_4, C_1 (C_3, C_5, C_7) и C_2 (C_4, C_6, C_8), определяет частоту генерации, вторая ООС, состоящая из терморезистора R_9 и конденсатора C_9, служит для стабилизации амплитуды колебаний при изменении окружающей температуры (работа подобной схемы подробно рассмотрена в описании генератора сигналов).

Применение такой схемы задающего генератора позволило получить достаточно высокую стабильность частоты, определяемую в основном температурными коэффициентами частотнозадающих элементов. Реальная стабильность частоты генератора не ниже 0,5% в диапазоне температур от 10 до 35 °С. Задающий генератор работает на фиксированных частотах: 20 *кгц*, 2 *кгц*, 200 и 20 *гц*, соответствующие диапазонам измеряемых емкостей: 200—2 000 *пф*, 2 000 *пф* — 0,02 *мкф*, 0,02—0,2 *мкф* и 0,2—2 *мкф*. Изменение частоты осуществляется переключателем $П_1$ *Диапазон измерения*. Так как на выходе задающего генератора (эмиттер T_3) действует сигнал синусоидальной формы, то для осуществления надежного запуска ждущего мультивибратора в схему введен формирователь запускающих импульсов — триггер Шмидта на транзисторах T_4, T_5. Триггер вырабатывает запускающие импульсы прямоугольной формы с постоянными амплитудой и длительностью фронтов независимо от частоты запуска. Для уменьшения влияния низкоомной

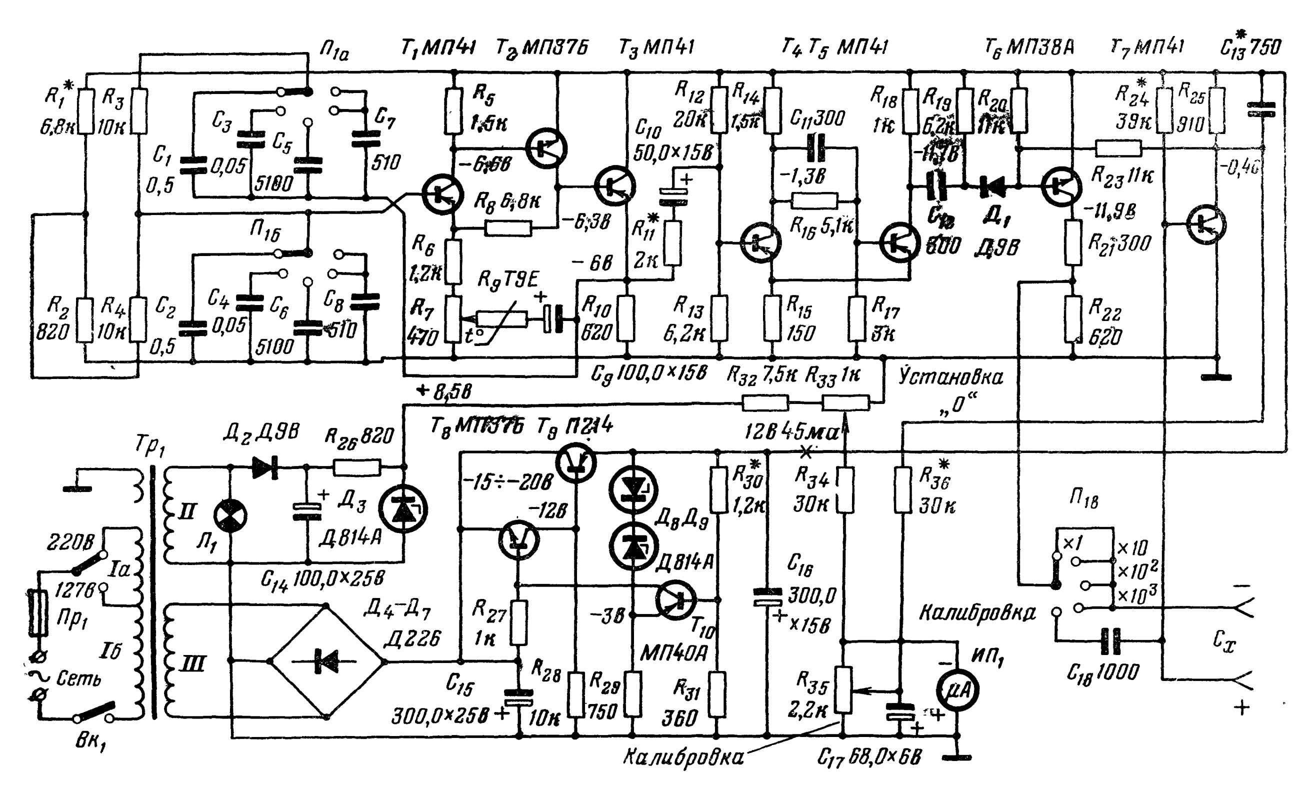


Рис. 10. Принципиальная схема измерителя емкости.

входной цепи триггера на режим работы задающего генератора сигнал с эмиттера транзистора T_3 снимается через резистор R_{11}.

Импульсы прямоугольной формы, снимаемые с коллектора транзистора T_5 через дифференцирующую цепочку C_{12}, R_{19} и диод $Д_1$ поступают на ждущий мультивибратор, собранный на транзисторах T_6 и T_7, который в данном случае выполняет роль преобразователя измеряемой емкости в длительность импульсов. Мультивибратор собран на транзисторах разной проводимости. В статическом состоянии мультивибратора транзистор T_7 открыт, так как на его базу подано напряжение смещения через резистор R_{24}. Таким образом, резистор R_{23}, обеспечивающий, в свою очередь, ток смещения базы транзистора T_6, оказывается соединенным с корпусом прибора через открытый транзистор T_7. Это приводит к насыщению T_6. При таком состоянии мультивибратора, одна обкладка измеряемого конденсатора оказывается подключенной через открытый транзистор T_6 и ограничительный резистор R_{21} к «минусу» источника питания, а другая — к «плюсу» (корпусу прибора) через прямосмещенный переход база-эмиттер.

При поступлении отрицательного запускающего импульса транзистор T_6 закрывается. Таким образом, между базой и эмиттером транзистора T_7 будет действовать напряжение заряженного конденсатора (примерно 8 *в*). Транзистор T_7 закроется, так как к его базе будет приложен положительный потенциал. Этим самым отключится цепь смещения T_6, и транзистор закроется. Такое состояние мультивибратора будет оставаться и после окончания действия запускающего импульса.

Квазиустойчивое состояние будет продолжаться до тех пор, пока измеряемый конденсатор не разрядится. Далее наступит перезаряд конденсатора. Появление на его обкладке, подключенной к базе T_7, даже небольшого отрицательного потенциала откроет транзистор T_7, который, в свою очередь, через цепь обратной связи (резистор R_{24}) откроет транзистор T_6. Состояние мультивибратора вернется в исходное.

Существенным достоинством данной схемы ждущего мультивибратора является высокая линейность преобразования.

При подключении измеряемого конденсатора к зажимам C_x ждущий мультивибратор вырабатывает им-

пульсы, длительность которых определяется емкостью измеряемого конденсатора, а частота — выбранным поддиапазоном. При этом значение фиксированной частоты задающего генератора и величина времязадающего резистора R_{24} выбираются такими, чтобы при максимальном значении измеряемой емкости на каждом поддиапазоне длительность сформированного импульса была равна паузе, т. е. скважность была равна двум. Значение тока через микроамперметр в этом случае максимальное. При меньшей величине измеряемой емкости ждущий мультивибратор вырабатывает импульсы соответственно меньшей длительности, что приводит к уменьшению тока через измерительный прибор.

Для предотвращения пробоя транзисторов T_6 и T_7 при наличии короткого замыкания в измеряемом конденсаторе один из выходных зажимов подключен к делителю R_{21}, R_{22}, составляющему коллекторное сопротивление транзистора T_6. В этом случае ток через транзисторы T_6 (переход коллектор-эмиттер) и T_7 (переход база-эмиттер) ограничивается резистором R_{21}.

С коллектора транзистора T_7 сформированные импульсы прямоугольной формы через ограничительный резистор R_{36} поступают непосредственно в измерительную цепь, состоящую из магнитоэлектрического микроамперметра $ИП_1$, демпфирующего конденсатора C_{17} и потенциометра R_{35}, с помощью которого осуществляется регулировка чувствительности прибора (калибровка). Построение измерительной цепи в данном случае аналогично применяемой в частотомере (рис. 2 и 3).

На переходе коллектор-эмиттер транзистора T_7 в насыщенном состоянии возникает остаточное напряжение (0,1—0,5 *в*), вызывающее протекание начального тока через измерительный прибор. Для компенсации этого тока в схему введено положительное смещение, поступающее в измерительную цепь через ограничительный резистор R_{34} от отдельного источника (диоды $Д_2$, $Д_3$). Потенциометром R_{33} осуществляется электрическая установка стрелки микроамперметра на нуль.

Для компенсации ошибок измерений, появляющихся в процессе эксплуатации прибора, предусмотрен режим калибровки. В положении переключателя $П_1$ *Калибровка* в приборе устанавливается частота 20 *кгц* (поддиапазон 200—2 000 *пф)* и к ждущему мультивибратору подключается эталонный конденсатор C_{18} емкостью 1 000 *пф*,

что соответствует положению стрелки прибора на отметке 1000 (середина шкалы). Один из входных зажимов в этот момент отключается. Необходимая чувствительность микроамперметра в режиме калибровки устанавливается потенциометром R_{35}.

Для питания всех электрических цепей прибора применяются два стабилизатора: первый параметрического типа (диод $Д_3$), второй — компенсационного (транзисторы T_8—T_{10}). Аналогичная схема источника питания рассмотрена в описании частотомера.

Конструкция и детали. Прибор монтируется на двух гетинаксовых платах толщиной 2 *мм* и размерами 135×190 *мм*. С помощью металлических стоек платы соединяются между собой и крепятся к передней панели. На одной плате размещены задающий генератор, триггер и ждущий мультивибратор, на другой — источник питания.

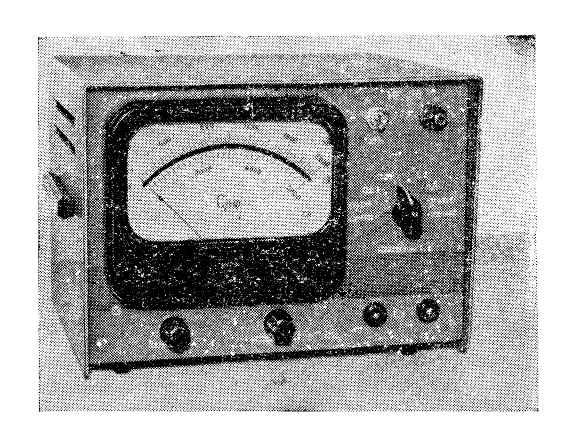


Рис. 11. Внешний вид измерителя емкости.

Монтажные платы располагаются внутри кожуха размерами 150×210×180 *мм* (рис. 11). На передней панели прибора размещены: стрелочный прибор $ИП_1$, переключатель диапазонов измерения $П_1$, зажимы для подключения измеряемой емкости, потенциометры установки нуля R_{33} и калибровки R_{35}, а также тумблер включения сети $Вк_1$ и индикаторная лампа $Л_1$.

В качестве измерительного прибора применен магнитоэлектрический микроамперметр типа М265 чувствительностью 100 *мка*. Шкала прибора проградуирована

в значениях емкости 0—2 000 *пф*. Можно применить любой другой микроамперметр с максимальным током 100—300 *мка*, например М24.

Частотнозадающие элементы — конденсаторы C_1—C_8 крепятся непосредственно на платах переключателя $П_1$.

В приборе могут быть применены любые низкочастотные германиевые транзисторы соответствующей проводимости, имеющие статический коэффициент усиления по току $\beta_{ст}>30$ и максимальное допустимое напряжение между коллектором и эмиттером $U_{к.э}$ не менее 15 *в*. Мощный регулирующий транзистор T_9 блока питания может быть любой из серии П213—П217; он устанавливается на небольшом радиаторе.

Конструкция и моточные данные трансформатора $Тр_1$ источника питания измерителя емкости аналогичны примененному в частотомере.

Настройка прибора и калибровка. Проверка работоспособности каскадов и настройка прибора осуществляются при помощи эталонных конденсаторов емкостью 1 *мкф*, 0,1 *мкф*, 0,01 *мкф* и 1 000 *пф*. Погрешность прибора при эксплуатации практически определяется точностью проведенной первоначальной калибровки, поэтому эталонные емкости должны быть подобраны с точностью не ниже 0,5%, причем конденсатор емкостью 1000 *пф* используется в приборе как калибровочный (C_{18}).

При исправных деталях после тщательной проверки монтажа сначала приступают к наладке стабилизатора (транзисторы T_8—T_{10}). Наладка сводится к подбору резистора R_{30}, с помощью которого выходное напряжение устанавливается равным 12 *в*. Пределы регулировки положительного смещения потенциометром R_{33} должны составлять примерно 0—1 *в* при напряжении на опорном диоде $Д_2$ 7—8,5 *в*.

Дальнейшая наладка прибора проводится в следующем порядке: задающий генератор T_1—T_3, триггер T_4, T_5, ждущий мультивибратор T_6, T_7 и измерительная цепь.

Наладка задающего генератора начинается с установления заданных режимов транзисторов T_1—T_3 по постоянному току путем подбора сопротивления резистора R_1. Для этого необходимо предварительно отключить цепь ПОС, отсоединив резистор R_3 от движка переключателя $П_{1а}$. Номинальные значения режимов указаны на принципиальной схеме (рис. 10).

Режимы транзисторов T_4—T_7, указанные в схеме, соответствуют статическому состоянию каскадов (сигналы на входах отсутствуют). В этом случае транзисторы T_4, T_6 и T_7 открыты и насыщены, T_5 — закрыт. Методика проверки триггера T_4, T_5 и ждущего мультивибратора T_6, T_7 приведена в описании частотомера.

Далее приступают к проверке работы каскадов по переменному току. Проверка каскадов в этом режиме производится с помощью осциллографа. Сначала проверяют работу и настраивают задающий генератор. Для этого переключатель $П_1$ устанавливают в положение, соответствующее поддиапазону «×1» (200—2 000 *пф*). Осциллограф подключают к эмиттеру транзистора T_3. Вращением ручки потенциометра R_7 добиваются устойчивой генерации и правильной формы синусоидального сигнала. Установившееся значение напряжения переменного сигнала должно быть в пределах 1,5—3 *в* (амплитудного значения, измеренного осциллографом). Подбирая емкость конденсаторов C_7 и C_8, устанавливают (по осциллографу) частоту генерации 20 *кгц*±10%.

После этого необходимо подключить осциллограф к коллектору транзистора T_5 (триггер Шмидта) и, подбирая сопротивление резистора R_{11} (можно включить вместо него переменное сопротивление), добиться устойчивого запуска триггера на всех поддиапазонах. Величину порога срабатывания триггера необходимо при этом установить с некоторым запасом.

Для проверки работы ждущего мультивибратора в режиме запуска переключатель $П_1$ следует установить в положение *Калибровка.* При этом, как видно из принципиальной схемы (рис. 10), частота генерации остается прежней (20 *кгц*), а к ждущему мультивибратору подключается калибровочный конденсатор C_{18} емкостью 1 000 *пф.* На экране осциллографа, подключаемого к коллектору транзистора T_7, должны наблюдаться импульсы отрицательной полярности. Если ждущий мультивибратор не запускается, следует несколько увеличить емкость конденсатора C_{12}. Осциллограммы сигналов на электродах транзисторов T_3, T_5 и T_7 при работе измерителя емкости в режиме калибровки изображены на рис. 12. Затем с помощью времязадающего резистора R_{24} устанавливают длительность отрицательного импульса, наблюдаемого на экране осциллографа, равную четверти периода.

Заключительный этап — регулировка измерительной цепи и совмещение диапазонов прибора. Сначала необходимо произвести электрическую установку нуля и подобрать чувствительность микроамперметра (перед подключением прибора к сети произвести установку нуля микроамперметра механическим корректором). Для этого установить переключатель $П_1$ в любое положение (кроме *Калибровка*) и потенциометром R_{33} выставить стрелку микроамперметра на нулевую отметку. Далее установить потенциометр R_{35} в среднее положение, а переключатель $П_1$ в положение *Калибровка*. В зависимости от чувствительности примененного микроамперметра по-

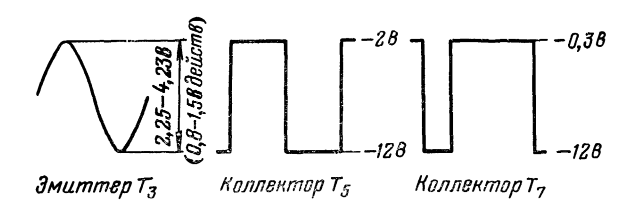


Рис. 12. Осциллограммы напряжений на электродах транзисторов измерителя емкости.

добрать ограничительное сопротивление R_{36} так, чтобы стрелка прибора остановилась на отметке 1000. В схеме (рис. 10) значение резистора R_{36} дано для случая применения микроамперметра с максимальным током 100 *мка*. Затем необходимо еще раз провести коррекцию нуля, так как изменение сопротивления потенциометра R_{36} приводит к некоторому смещению стрелки индикатора. Окончательная подгонка показания прибора на этом поддиапазоне на отметку 1000 осуществляется потенциометром R_{35} (калибровка).

Устанавливая затем переключатель поддиапазонов $П_1$ поочередно в положения «$\times 10$» (2000 *пф* — 0,02 *мкф*), «$\times 10^2$» (0,02—0,2 *мкф*) и «$\times 10^3$» (0,2—2 *мкф*) и подключая к входным зажимам соответственно эталонные емкости 0,01 *мкф*, 0,1 *мкф* и 1 *мкф*, следует подобрать попарно конденсаторы C_1 (C_3, C_5) и C_2 (C_4, C_6) таким образом, чтобы стрелка прибора в каждом случае находилась в середине шкалы. На этом настройку и градуировку измерителя емкости можно считать законченными.

Правила работы с прибором. После включения прибора и двухминутного прогрева перед началом работы необходимо для повышения точности измерений произвести установку нуля и калибровку.

Если емкость приблизительно неизвестна, измерение следует начинать с верхнего поддиапазона (0,2—2 *мкф*).

ЭЛЕКТРОННЫЙ ВОЛЬТМЕТР

Электронный вольтметр предназначен для измерения действующего (эффективного) и среднего значений синусоидальных напряжений от 1 *мв* до 300 *в* диапазоне частот от 10 *гц* до 1 *Мгц*.

Пределы измерения напряжения 10—30—100—300 *мв* и 1—3—10—30—100—300 *в*. Погрешность измерения в указанных пределах не превышает ±3% для диапазона частот 10 *гц* — 250 *кгц*. В диапазоне частот 250 *кгц*—1 *Мгц* погрешность составляет ±5%. Шкала прибора линейная.

Входное сопротивление вольтметра на частоте 1 000 *гц* на пределах 10 *мв* — 1 *в* не менее 0,5 *Мом*, на пределах 3 *в* — 300 *в* не менее 1 *Мом*. На частоте 1 *Мгц* входное сопротивление в указанных пределах соответственно равно 100 *ком* и 300 *ком*.

В вольтметре предусмотрен режим калибровки на пределе 1 *в*, который позволяет в период эксплуатации прибора осуществлять периодическую подстройку с точностью не ниже ±0,5—±1%. Рабочий диапазон температур окружающего воздуха от 10 до 35 °C.

Прибор питается от сети переменного тока напряжением 127 или 220 *в*±10%. Изменение напряжения сети в указанных пределах не вызывает дополнительной погрешности.

Электрическая принципиальная схема. Электронный вольтметр, принципиальная схема которого приведена на рис. 13, выполнен по следующей блок-схеме: входной делитель напряжения, входной согласующий каскад, аттенюатор, два широкополосных усилителя (предварительный и измерительный), генератор калибровочного напряжения и источник питания.

В зависимости от предела измерения входной сигнал поступает на согласующий каскад (транзисторы T_1, T_2) непосредственно или через делитель напряжения с ослаб-

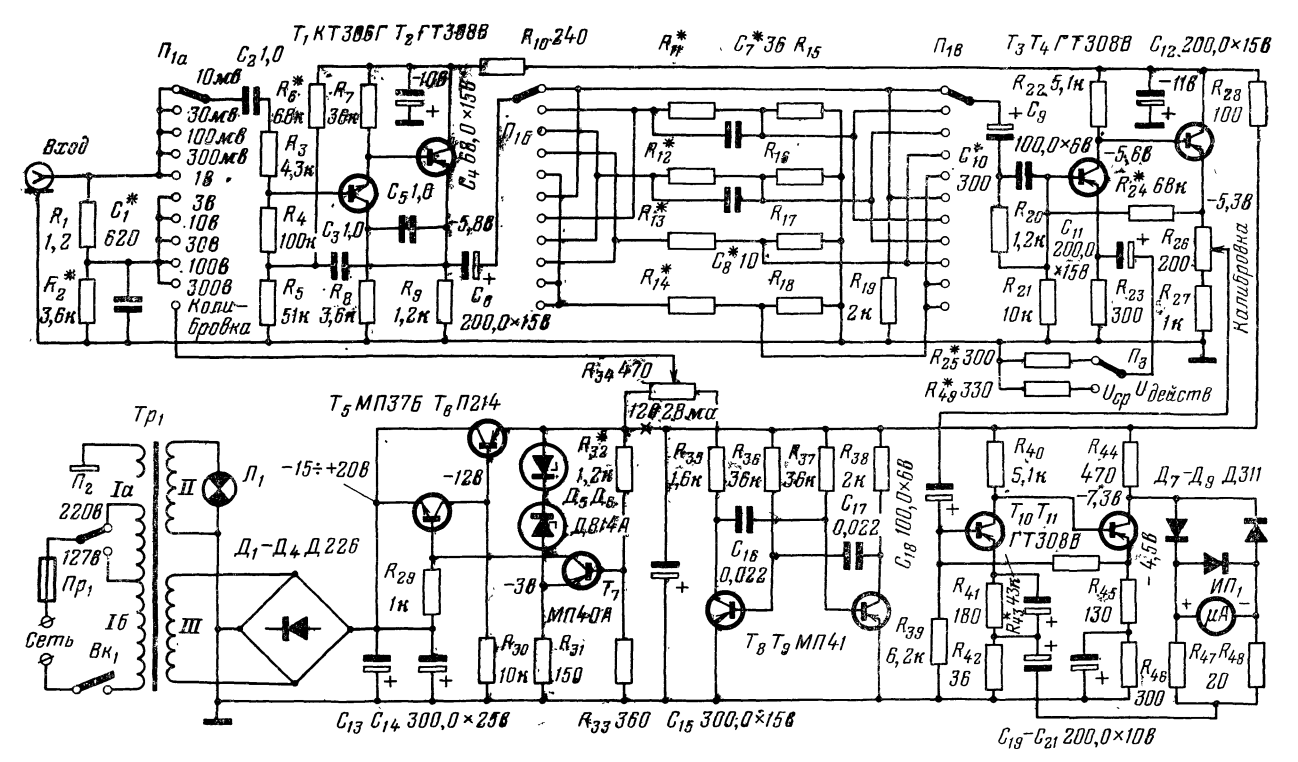


Рис. 13. Принципиальная схема электронного вольтметра.

лением на 50 *дб* (316 раз). Такая степень ослабления позволяет получить пределы измерения вольтметра, кратные 10 *дб*, а также дает возможность упростить входные цепи. Делитель выполнен на резисторах R_1 и R_2. Для сохранения высокого входного сопротивления на пределах 3—300 *в* верхний резистор R_1 делителя высокоомный. На низких частотах подобный делитель напряжения работает нормально, а на частотах, начиная с сотен килогерц, вносит существенные ошибки. Объясняется это наличием в конструкции вольтметра паразитных емкостей монтажа, которые на ВЧ шунтируют высокоомный резистор R_1, вызывая увеличение коэффициента передачи делителя, что в свою очередь приводит к подъему амплитудно-частотной характеристики вольтметра. Для устранения этого недостатка во входной делитель введена цепь частотной компенсации, состоящая из конденсатора C_1, шунтирующего на ВЧ резистор R_2, выравнивая тем самым коэффициент передачи. Емкость компенсирующего конденсатора (порядка сотен пикофарад) подбирается экспериментально в процессе настройки прибора.

Одной из основных трудностей при разработке широкополосных вольтметров на транзисторах является обеспечение высокого входного сопротивления как на низких, так и на высоких частотах. Особенностью транзисторных усилителей с общей базой и общим эмиттером является относительно малое входное сопротивление, обусловленное физическими свойствами полупроводниковых приборов. Последнее накладывает известные ограничения на применение этих каскадов во входных цепях электронных вольтметров, входное сопротивление которых должно быть много больше, чем выходное сопротивление источника измеряемого сигнала. Как и в ламповой технике, широкое применение получили в этом случае усилители со 100%-ной отрицательной обратной связью — эмиттерные повторители. Характерными особенностями эмиттерных повторителей являются более высокое, чем в других схемах, входное сопротивление, относительно низкое выходное сопротивление, стабильность и линейность рабочих характеристик, значительное усиление сигнала по мощности и близкий к единице коэффициент передачи по напряжению.

Простейший эмиттерный повторитель на одном транзисторе (рис. 14, *а*) не позволяет обеспечить требование,

предъявляемое к входным согласующим устройствам. Входное сопротивление такого повторителя определяется эквивалентным сопротивлением нагрузки и ограничивается утечками входного тока через сопротивление коллекторного перехода $r_к$ и резисторы цепей смещения. Исходя из этого при разработке согласующего устройст-

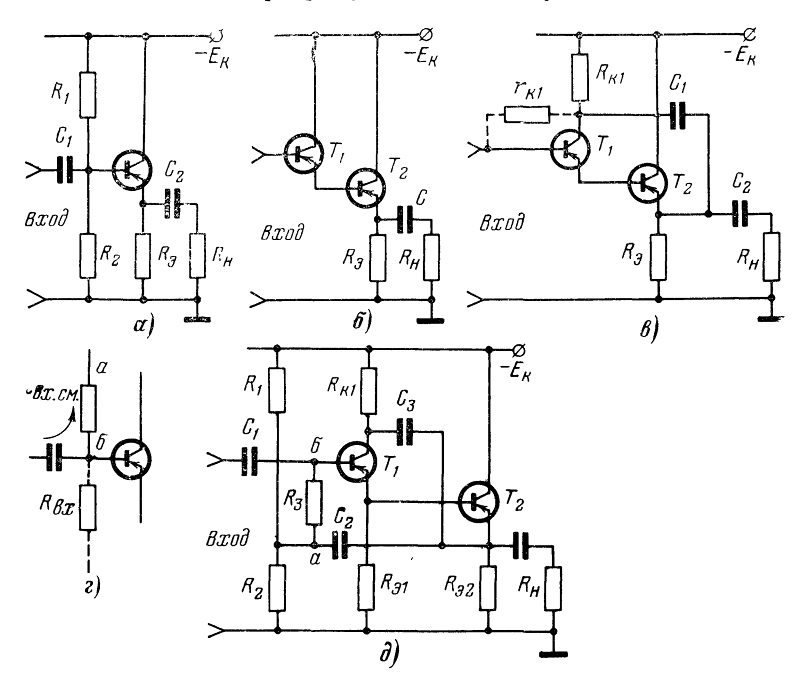


Рис. 14. Методы компенсации потерь в эмиттерном повторителе.
а — простой эмиттерный повторитель; *б* — схема эмиттерного повторителя с высоким эффективным значением эмиттерной нагрузки, *в* — эмиттерный повторитель с компенсацией в цепи коллектора; *г* — влияние цепей смещения на $R_{вх}$; *д* — схема с компенсацией в цепи смещения.

ва электронного вольтметра с целью получения наибольшего входного сопротивления, были приняты за основу следующие способы модификации классической схемы эмиттерного повторителя. Это, с одной стороны,—увеличение эффективного значения сопротивления нагрузки в цепи эмиттера $R_э$ и, с другой стороны, обеспечение максимального эффективного сопротивления коллекторного перехода $r_к$ транзистора, а также цепей смещения.

Входное сопротивление эмиттерного повторителя (при условии что $r_к \gg R_э$) определяется выражением

$$R_{вх} \approx (1+\beta) R_э.$$

Отсюда видно, что для повышения входного сопротивления эмиттерного повторителя необходимо не только выбирать транзистор с большим коэффициентом усиления β, но и увеличивать сопротивление в цепи эмиттера $R_э$. На практике, однако, ни β, ни $R_э$ не могут принимать бесконечно большого значения. Как известно, в лучших образцах транзисторов величина β может достигать 200—300. Увеличение сопротивления $R_э$ может быть эффективным лишь до тех пор, пока выполняется условие $R_э \ll R_н$, т. е. внешняя нагрузка не шунтирует резистор $R_э$. Кроме того, предел увеличения сопротивления $R_э$ ограничивается спадом коэффициента усиления транзистора по току β при уменьшении тока транзистора ниже некоторого минимального значения.

С этой точки зрения весьма удачным является использование в качестве $R_э$ входного сопротивления вспомогательного эмиттерного повторителя на транзисторе T_2 (рис. 14, *б*) при условии подключения внешней нагрузки $R_н$ к эмиттерному выходу транзистора T_2. Вспомогательный транзистор играет роль нагрузочного сопротивления, повышающего эффективное значение $R_н$ по отношению к эмиттерному выходу транзистора T_1.

Для увеличения сопротивления коллекторного перехода $r_к$ в схеме на рис. 14, *б* можно воспользоваться принципом электрической компенсации тока утечки через это сопротивление путем введения компенсирующего напряжения. Для этого нужно изменять потенциал $U_{к1}$ пропорционально потенциалу $U_{б1}$. Тогда разность потенциалов $U_{к.б1}$ будет значительно меньше, чем $U_{б1}$, ток через сопротивление $r_{к1}$ значительно уменьшится, что равносильно увеличению $r_{к1}$. Для осуществления этой идеи в схему вводится резистор $R_{к1}$ (рис. 14, *в*) и на коллектор транзистора T_1 через конденсатор C_1 подается переменная составляющая выходного напряжения, которое и является компенсирующим.

Таким образом, использование принципа коллекторной компенсации позволяет повысить величину $r_к$, т. е. предел, к которому стремится входное сопротивление эмиттерного повторителя.

Вместе с этим следует отметить еще одно очень важное качество коллекторной компенсации. Одновременно при введении в коллектор транзистора T_1 (рис. 14, *в*) компенсирующего напряжения осуществляется и компенсация тока утечки высокочастотного сигнала через емкость $C_к$, т. е. действующее значение $C_к$ уменьшается до величины

$$C_{к.действ} = C_к(1 - K_u),$$

где K_u — коэффициент передачи напряжения от эмиттера транзистора T_2 к коллектору транзистора T_1. Это приводит к повышению действующего значения входного сопротивления эмиттерного повторителя на ВЧ, так как оно значительно падает из-за шунтирующего действия емкости коллекторного перехода $C_к$. Практически эту емкость удается снизить в данной схеме (рис. 14, *в*) в 3—4 раза и довести тем самым входную емкость эмиттерного повторителя до 1—1,5 *пф*. Это соответствует входному сопротивлению 100—150 *ком* на частоте 1 *Мгц*.

Следует отметить, что при использовании методов, приводящих к существенному увеличению входного сопротивления транзистора, большое значение приобретает сопротивление цепей смещения базы транзистора. Как видно из рис. 14, *г*, эти цепи (имеющие эквивалентное сопротивление $R_{см}$) включены параллельно входному сопротивлению транзистора и снижают реальное входное сопротивление каскада. Этот факт приобретает особое значение, если учесть, что для обеспечения необходимой стабильности рабочей точки величина $R_{см}$ выбирается в пределах нескольких десятков килоом.

Для увеличения эффективного сопротивления $R_{см}$ обычно также пользуются методом компенсации тока утечки. В эмиттерном повторителе, предназначенном для передачи сигналов переменного тока, компенсирующее напряжение снимается с эмиттера повторителя (рис. 14, *д*), который имеет относительно низкое выходное сопротивление, и через конденсатор подается в точку *а* развязывающего резистора R_3.

Таким образом, потенциал в точке *а* будет следить за потенциалом в точке *б* (такая обратная связь называется следящей связью). Точность слежения, т. е. степень компенсации, определяется коэффициентом передачи эмиттерного повторителя по напряжению. Вследствие этого величина тока утечки через резистор R_3 значительно уменьшается. Полученный эффект эквивалентен вве-

дению в цепь смещения дополнительного сопротивления по переменной составляющей. В этом случае сопротивления резисторов R_1 и R_2 могут быть выбраны, исходя из условий требуемой стабильности эмиттерного повторителя по постоянному току.

Практический вариант эмиттерного повторителя приведен на принципиальной схеме на рис. 13. В его состав входят транзисторы T_1 и T_2. При использовании транзисторов соответственно с параметрами $\beta_1=120$ и $\beta_2=50$ и при внешнем эквивалентном сопротивлении нагрузки $R_н=1$ *ком* основные характеристики повторителя следующие (для частоты 1 000 *гц*): $K_u=0{,}975$, $R_{вх}=1{,}2$ *Мом*, $R_{вых}=5$ ом. Зависимость характеристик K_u и $R_{вх}$ от частоты (с учетом шунтирующего действия резисторов делителя R_1 и R_2) приведены в табл. 2.

Таблица 2

f, гц	10^3	$5\cdot10^3$	10^4	$5\cdot10^4$	10^5	$2{,}5\cdot10^5$	$5\cdot10^5$	10^6
δK_u, %	0	0	0	0	0,2	0,4	0,7	1
$R_{вх}$, *ком*	550	550	550	550	500	300	150	100

В первом каскаде эмиттерного повторителя применен кремниевый транзистор *n-p-n* типа, имеющий более высокое значение $r_к$, чем германиевый. Резистор R_3 введен для ограничения тока базы транзистора T_1 при перегрузках входной цепи.

Вариант согласующего устройства с повышенным входным сопротивлением на полевом транзисторе. Полевой транзистор — это сравнительно новый элемент современной радиоэлектроники. Он обладает почти всеми ценными качествами обычного биполярного транзистора и, кроме того, имеет высокое входное сопротивление. В тех случаях, когда при условии сохранения высокого входного сопротивления требуется минимальное выходное сопротивление, возможно сочетание полевого и биполярного транзистора (рис. 15).

В предлагаемой схеме используются высокое входное сопротивление полевого транзистора T_1 в схеме с общим стоком и низкое выходное сопротивление биполярного транзистора T_2 в схеме с общим коллектором. В этом

согласующем устройстве используются принципы построения схемы и методы повышения входного сопротивления, аналогичные описанным ранее. Транзисторы T_1 и T_2 включены по схеме составного повторителя, что обеспечивает увеличение эффективного сопротивления на-

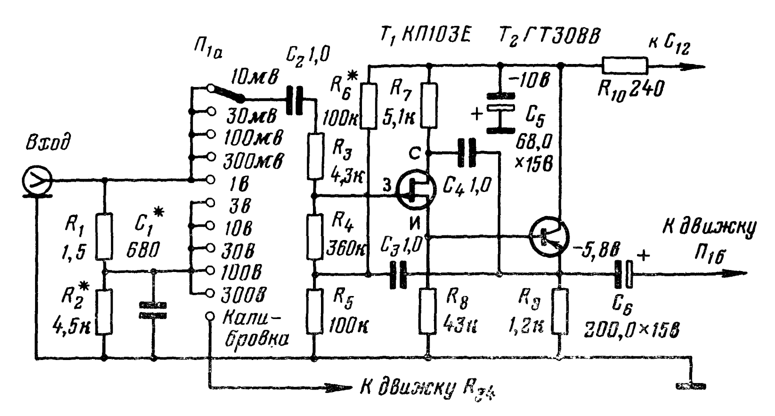


Рис. 15. Согласующее устройство с высоким входным сопротивлением.

грузки в цепи истока транзистора T_1. Для устранения шунтирующего влияния цепей смещения на входное сопротивление применена обратная связь (C_3): эмиттер T_2 — затвор T_1.

Для нейтрализации емкости затвор — сток, которая является одним из основных факторов, определяющих входное сопротивление эмиттерного повторителя на ВЧ, осуществлена дополнительная обратная связь по стоковой цепи (C_4): эмиттер T_2 — сток T_1.

При номиналах элементов, указанных в схеме на рис. 15, и использовании транзисторов с параметрами $S=1{,}5$ *ма/в* (T_1) и $\beta=40$ (T_2) и эквивалентном сопротивлении внешней нагрузки $R_н=1$ *ком* повторитель имеет следующие характеристики (для частоты 1 000 *гц*): $R_{вх}=5$ *Мом*; $R_{вых}<10$ *ом*; $K_u=0{,}94$. При увеличении сопротивления R_4 в 2 раза входное сопротивление увеличивается до 10 *Мом*.

Изменения коэффициента передачи и зависимость входного сопротивления (с учетом шунтирующего влияния входного делителя) от частоты приведены в табл. 3.

Сигнал с согласующего устройства электронного вольтметра (рис. 13) через переключатель $П_{1б}$ поступает

на аттенюатор, с помощью которого осуществляется изменение пределов измерения. Аттенюатор позволяет получить ослабления в 3,16 (R_{11} 820 *ом*, R_{15} 445 *ом*), 10 (R_{12} 1,1*к*, R_{16} 12,8 *ом*), 31,6 (R_{13} 1,2 *к*, R_{17} 37,5 *ом*) и в 100 раз (R_{14} 1,2*к*, R_{18} 11,9 *ом*), что соответствует пределам измерения 30 *мв* (10 *в*), 100 *мв* (30 *в*), 300 *мв* (1005 *в*) и 1 *в* (300 *в*). На пределах 1 *мв* (3 *в*) сигнал поступает на последующие каскады вольтметра без ослабления.

Аттенюатор содержит на каждом пределе (кроме 10 *мв* и 3 *в*) по два резистора, независимых от остальных элементов. Число деталей, необходимых для такого

Таблица 3

f, гц	10^3	$5 \cdot 10^3$	10^4	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2,5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	10^6
δK_u, %	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4
$R_{вх}$, *ком*	900	900	900	800	700	400	150	100

делителя, несколько больше, чем у многоступенчатого, зато настройка его значительно упрощается. Кроме того, такая схема построения делителя напряжения позволяет осуществить частотную компенсацию.

Сопротивления плеч делителей рассчитаны с учетом шунтирующего действия входного сопротивления предварительного усилителя (каскады на транзисторах T_3, T_4). На низких частотах входное сопротивление этого усилителя 3,7 *ком*. На высоких частотах оно уменьшается, что вызывает дополнительное шунтирование правых (по схеме) плеч делителей (резисторы R_{15} — R_{18}). Это приводит к некоторому спаду амплитудно-частотной характеристики вольтметра, вызывающего увеличение погрешности измерения.

Для устранения этого недостатка в схему аттенюатора введены цепи частотной компенсации из конденсаторов C_7 и C_8, которыми шунтируются соответствующие резисторы R_{11} и R_{12}. На других пределах осуществлять частотную компенсацию не требуется, так как шунтирующее влияние изменяющегося входного сопротивления усилителя на низкоомные сопротивления R_{17} и R_{18} незначительно. Резистор R_{19} играет роль нагрузочного сопротивления при работе вольтметра на пределах 10 *мв* и 3 *в*.

Следующим функциональным узлом вольтметра является предварительный усилитель, собранный на транзисторах T_3 и T_4, который осуществляет усиление сигнала по напряжению до величины, необходимой для нормальной работы измерительного усилителя (T_{10}, T_{11}). Предварительный усилитель собран по классической схеме двухкаскадного усилителя с непосредственной связью. Транзистор T_1 работает по схеме с общим эммиттером, T_2—с общим коллектором. Усилитель охвачен параллельной ООС по току (резистор R_{24}). Введение каскада с общим коллектором вызвано необходимостью согласования предварительного каскада усиления с измерительным усилителем, имеющим низкоомный вход.

Первый каскад предварительного усилителя T_3 охвачен местной последовательной ООС по току. Введение такой обратной связи позволяет увеличить полосу пропускания усилителя на высоких частотах. Резистор R_{23} шунтирован цепью из конденсатора C_{11} и резистора R_{25} (или R_{49}). Переключатель $П_3$ предназначен для выбора измеряемого напряжения — действующего или среднего.

Сопротивления резисторов R_{25} и R_{49} определяют глубину ООС по переменному току. При помощи потенциометра R_{26} осуществляется калибровка прибора в процессе эксплуатации.

На высоких частотах коэффициент передачи усилительного тракта вольтметра (T_1—T_6) падает, что вызвано зависимостью параметров транзисторов от частоты. С ростом частоты уменьшается коэффициент усиления по току (α или β), а также сказывается влияние статических емкостей переходов. Для выравнивания амплитудно-частотных характеристик вольтметра на ВЧ на входе предварительного усилителя включена частотно-компенсированная цепь C_{10} и R_{20}.

Составной эмиттерный повторитель и предварительный усилитель содержат развязывающие цепи (R_{10}, C_4 и R_{28}, C_{12}), которые обеспечивают устойчивую работу этих каскадов на всех частотах.

Измерительный усилитель (T_{10}, T_{11}) предназначен для обеспечения линейности характеристики амплитудного детектора, в качестве которого используется мостовая схема: резисторы R_{47}, R_{48} и диоды $Д_7$—$Д_9$. Амплитудный детектор служит для преобразования переменного напряжения измеряемого сигнала в пропорциональный ему постоянный ток, величина которого регистрируется стре-

лочным прибором $ИП_1$. Измерительный усилитель имеет два каскада (T_{10}, T_{11}) с непосредственной связью. Оба каскада включены по схеме с общим эмиттером и охвачены параллельной ООС по току (резистор R_{43}). Гальваническая связь между каскадами и отсутствие разделительной емкости в цепи обратной связи обеспечивают ООС не только по переменной, но и по постоянной составляющей тока (в равной степени это относится к предварительному усилителю). В результате этого стабилизируются режимы транзисторов по постоянному току. Это особенно важно, если учесть, что для обеспечения максимального тока через микроамперметр $ИП_1$ коэффициент использования коллекторного напряжения по переменному току транзистора T_{11} выбран высоким. Нестабильность положения рабочей точки при изменении окружающей температуры привела бы в этом случае к ограничению сигнала. Для обеспечения устойчивой работы измерительного усилителя во втором каскаде T_{11} введена местная ООС по переменному току (резистор R_{45}).

Амплитудные преобразователи (амплитудные детекторы) в измерительных вольтметрах обычно выполняются на полупроводниковых диодах. Вследствие нелинейности прямой ветви вольт-амперных характеристик на участке малых (до 0,5—1 *в*) напряжений диодные преобразователи не обеспечивают необходимой равномерности шкалы отсчетного устройства, в качестве которого обычно используется магнитоэлектрический микроамперметр. Указанный недостаток затрудняет градуировку шкалы и снижает точность отсчета.

Для компенсации нелинейности преобразователей применяются несколько способов: 1) искусственное увеличение тока через детектор; 2) включение последовательно с детектором больших добавочных сопротивлений; 3) применение квазилинейных делителей напряжения на диодах; 4) включение нелинейных шунтов к измерительному индикатору; 5) введение ООС по переменному току. Наиболее эффективным является сочетание двух последних способов. Для осуществления последнего способа в измерительном усилителе использована параллельная ООС по переменному току (с коллектора транзистора T_{11} на резистор R_{42}), в цепь которой включены диодный детектор $Д_7$—$Д_9$ и микроамперметр. Для увеличения рабочего тока через диоды развязывающие сопротивления R_{47} и R_{48} выбраны низкоомными. Высокий соб-

ственный коэффициент усиления усилителя ($K=250$) и глубокая ООС позволили достичь высокой линейности преобразования. Шунтирование микроамперметра нелинейным элементом — диодом $Д_8$ дополнительно улучшает линейность шкалы на начальном участке. Это происходит потому, что уменьшение напряжения на входе выпрямительной цепочки (диоды $Д_7$, $Д_9$) приводит к увеличению сопротивления диода $Д_8$, шунтирующего микроамперметр. Это частично компенсирует уменьшение тока через микроамперметр.

В вольтметре предусмотрен режим калибровки. Источником калибровочного напряжения служит симметричный мультивибратор, собранный на транзисторах $Т_8$ и $Т_9$. Частота генерации мультивибратора составляет 1 000 *гц*. Форма импульсов близка к прямоугольной. Калибровочный сигнал снимается с части коллекторной нагрузки транзистора $Т_8$. Необходимый уровень напряжения этого сигнала устанавливается потенциометром R_{34} в процессе настройки прибора. Для калибровки используется поддиапазон 0—1 *в*. Среднее значение напряжения генерируемых импульсов изменяется не более чем на ±0,5% в диапазоне температур от 10 до 35 °С.

Источник питания вольтметра состоит из трансформатора $Т_1$, выпрямительного моста $Д_1$—$Д_4$ и компенсационного стабилизатора на транзисторах $Т_5$—$Т_7$. Схемная реализация стабилизатора аналогична примененному в частотомере.

Конструкция и детали. Вольтметр выполнен в виде прибора настольного типа (рис. 16). Размещается он в металлическом корпусе размерами 210×150×180 *мм*. Материал кожуха — дюралюминий толщиной 1,5 *мм*.

Все необходимые органы управления прибором расположены на передней панели: переключатели пределов измерения $П_1$ и значения измеряемого напряжения $П_3$, ручка потенциометра калибровки R_{26}, стрелочный индикатор $ИП_1$, входной коаксиальный разъем, тумблер включения сети и сигнальная лампа $Л_1$.

Основная часть электрической схемы прибора размещена на трех платах, которые с помощью металлических стоек крепятся к лицевой панели, параллельно ей. Первая плата изготовляется из стеклотекстолита, обладающего хорошими радиочастотными свойствами. Размер платы 135×80 *мм*. Она крепится непосредственно на переключателе $П_1$ между первой $П_{1а}$ и второй $П_{1б}$

переключающими галетами. На плате размещаются: входной делитель напряжения, согласующий каскад и аттенюатор. Узел должен тщательно экранироваться.

Следует заметить, что конструкция этого узла должна быть выполнена так, чтобы был обеспечен свободный доступ к подстроечным элементам без снятия экрана. Для этого в экране около этих элементов необходимо предусмотреть небольшие окна.

Резисторы аттенюатора R_{11}—R_{18} рекомендуется применить проволочные; причем их можно изготовить само-

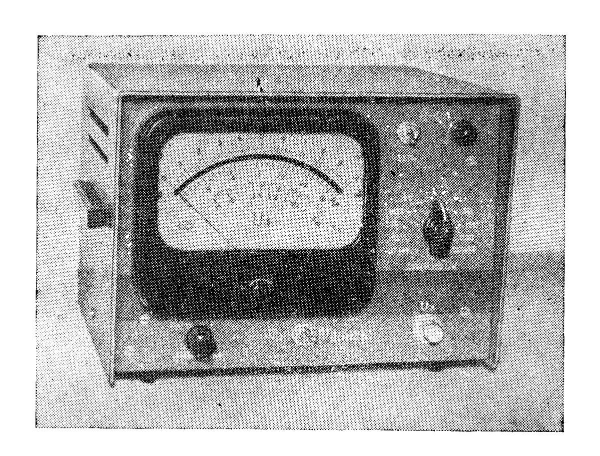


Рис. 16. Внешний вид электронного вольтметра.

стоятельно. Каркасами намотки при этом могут служить сопротивления типа МЛТ-1 (не менее 100 *ком*). Намотка бифилярная. Сопротивления резисторов должны быть подогнаны с точностью не ниже $\pm 2\%$. Для удобства регулировки коэффицента передачи делителей при настройке вольтметра, сопротивления резисторов R_{11}—R_{14} при изготовлении следует несколько увеличить (на 3—5%) против указанных в схеме. Подбор необходимого коэффициента деления в этом случае осуществляется путем подсоединения параллельно этим резисторам сопротивлений, в качестве которых могут служить резисторы типов МЛТ, УЛМ и т. п.

Переключатель пределов измерения $П_1$ должен иметь фарфоровые платы, которые разносятся друг относитель-

но друга на расстояние не менее 20 *мм* с целью уменьшения емкости монтажа.

При конструировании вольтметра, особенно его входного устройства и эммитерного повторителя, необходимо учитывать правила монтажа, предъявляемые к высокочастотным устройствам.

В приборе применен магнитоэлектрический микроамперметр типа М265 на 200 *мка,* класса точности 1,0. Можно применить любой стрелочный прибор чувствительностью 50—300 *мка.* Для сохранения точности измерения должны быть только сохранены размер шкалы и класс точности. Вольтметр имеет три шкалы: две основные — линейные для измерения напряжения на различных поддиапазонах и третью — вспомогательную нелинейную, позволяющую вести отсчет напряжения в децибелах (рис. 17). В качестве первой шкалы вольтметра, пределы измерения которой кратны 10, используется шкала с 50 делениями, имеющимися на микроамперметре. Вторая шкала (0—31,6) и шкала децибел наносятся дополнительно. Следует обратить внимание на точность нанесения отсчетных меток. Расположение меток шкалы децибел наносится против значений первой шкалы, приведенных в табл. 4.

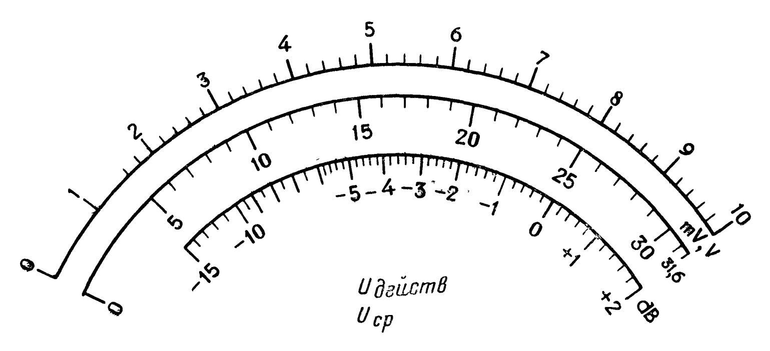


Рис. 17. Шкала прибора.

Уровни напряжений от 0 до —15 *дб* измеряются, когда переключатель $П_1$ находится в положении «1в». При перходе на каждый следующий высший поддиапазон к результату измерения следует прибавлять 10, 20 *дб* и т. д., а при переходе на поддиапазон 300 *мв* и ниже вычитать также 10, 20 *дб* и т. д.

В качестве транзисторов T_1—T_4, T_{10} и T_{11} **могут быть** использованы любые высокочастотные маломощные **транзисторы** соответствующей проводимости, у **которых** граничная частота усиления $f_\alpha > 40$ *Мгц*. Статический коэффициент усиления транзистора T_1 должен быть не менее 100, транзисторов T_2—T_4, T_{10} и T_{11} — не менее 40.

Таблица 4

Деление шкалы децибел, *Дб*	Соответствующие деления первой линейной шкалы
+2	50,4
+1	44,7
0	40
—1	35,7
—2	31,7
—3	28,2
—4	25,3
—5	22,5
—6	20
—7	17,9
—8	16
—9	14,2
—10	13
—15	7,12

Транзисторы, входящие в состав стабилизатора T_5, T_7 и мультивибратора T_8, T_9 — любые маломощные низкочастотные транзисторы с $\beta_{ст} > 30$. Регулирующий транзистор стабилизатора T_6 — любой из серии П213—П217. Диоды Д311 могут быть заменены на диоды Д9Д.

Конструкция и моточные данные трансформатора Tp_1 источника питания вольтметра аналогичны примененному в частотомере.

Настройка прибора и калибровка. Вольтметр обладает хорошими техническими показателями только тогда, когда он правильно и тщательно налажен. Для настройки необходимо иметь авометр и осциллограф любых типов. При калибровке прибора потребуется генератор сигналов, диапазон частот которого от 20 *гц* до 1 *Мгц*. С особым вниманием следует отнестись к выбору контрольного вольтметра, так как его погрешность измерения определяет точность калибровки налаживаемого прибора. Хорошие результаты могут быть получены, если при калибровке на низкой частоте применить вольтметр

типа В3-7, погрешность измерения которого на частоте 1 000 *гц* в диапазоне 1 *мв* — 3 *в* составляет 1,5%. При калибровке на высокой частоте (1 *Мгц*) можно использовать широко распространенный вольтметр В3-13.

Перед включением прибора в сеть необходимо убедиться в правильности проведенного монтажа.

Налаживание вольтметра следует начинать с проверки блока питания и установления режима стабилизатора, обеспечивающего выходное напряжение 12 *в*. Точная величина этого напряжения устанавливается резистором R_{32}.

Дальнейшая настройка производится в следующем порядке: проверка и подгонка режимов транзисторов по постоянному и затем по переменному току, калибровка по низкой частоте и последний этап — коррекция частотной характеристики. Режимы по постоянному току проверяются у транзисторов T_2, T_4 и T_6, входящих в состав оконечных каскадов согласующего устройства, предварительного и измерительного усилителей; значения режимов указаны на принципиальной схеме (рис. 13). Если измеренные напряжения отклоняются от номинальных более чем на ±10%, следует соответственно подобрать сопротивление резисторов R_6, R_{24} и R_{43}.

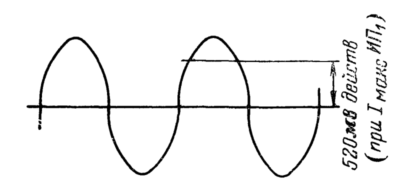


Рис. 18. Осциллограмма напряжения на коллекторе транзистора T_{11}.

Налаживание вольтметра по переменному току следует начинать с измерительного усилителя T_{10}, T_{11}. От базы транзистора T_{10} нужно отключить конденсатор C_{18} и на его место припаять новый конденсатор того же номинала, только в обратной полярности («минусом» на базу). Через припаянный разделительный конденсатор на базу транзистора T_5 подать сигнал от генератора синусоидального напряжения частотой 1 000 *гц*. Полное отклонение стрелки индикатора $ИП_1$ должно наблюдаться при входном напряжении 150 *мв*. С помощью осциллографа проверяется форма сигнала на коллекторе транзистора T_{11} (рис. 18). При увеличении входного напряжения до 170—180 *мв* не должно происходить ограничения выходного сигнала. В противном случае необходи-

мо еще раз подобрать сопротивление резистора R_{43}. Сильное искажение формы синусоиды объясняется действием нелинейной ООС (диоды $Д_7$, $Д_9$). Затем отключенный конденсатор C_{18} установить на место и подать сигнал на базу транзистора T_3 через разделительный конденсатор, как это делалось ранее. В этом случае полное отклонение стрелки микроамперметра должно быть зафиксировано при входном напряжении 9-11 *мв*. Средний коэффициент предварительного усилителя, таким образом, должен быть равен 15 (движок потенциометра R_{26} при этом должен быть в верхнем по схеме положении).

Восстановив схему и поставив переключатель $П_1$ в положение «1 *в*» следует подать на вход вольтметра сигнал от внешнего генератора. Согласующий каскад должен иметь коэффициент передачи 0,97—0,98 при максимальном неискаженном сигнале на эмиттере транзистора T_2 не менее 1,5 *в*.

Входное сопротивление вольтметра можно проверить следующим образом. По контрольному вольтметру на эмиттере транзистора T_2 установить сигнал напряжением 1 *в*. Затем отсоединить сигнальный конец от входа генератора и в разрыв включить потенциометр (реостатное включение) с полным сопротивлением 1,5—2 *Мом*. Вращая движок потенциометра, установить на эмиттере транзистора T_2 сигнал напряжением 0,5 *в*. Затем измерить сопротивление включенного плеча потенциометра, предварительно отключив его от схемы; оно будет численно равно $R_{вх}$ вольтметра.

Далее следует этап калибровки вольтметра. Калибровку следует производить очень тщательно, так как она определяет точность работы прибора. Калибровку начинают с поддиапазона «10 *мв*». На вход налаживаемого вольтметра подается сигнал частотой 1 000 *гц* и напряжением 10 *мв*, значение которого точно устанавливается по контрольному вольтметру.

Подбирая сопротивление резистора R_{25}, следует установить стрелку микроамперметра на деление «10» (верхняя шкала), что будет соответствовать действующему значению измеренного напряжения. При этом движок потенциометра R_{26} (*Калибровка*) должен быть предварительно установлен в среднее положение, чтобы в дальнейшем обеспечить двустороннее регулирование.

Не изменяя положения органов управления контрольных измерительных приборов, установить переключатель $П_3$ в положение, обеспечивающее режим измерения среднего значения переменного напряжения $U_{ср}$; этот режим устанавливается резистором R_{49}.

Так как действующее $U_{действ}$ и среднее $U_{ср}$ значения синусоидального напряжения можно выразить через амплитудное соотношениями

$$U_{действ}=0,707\ Um;$$

$$U_{ср}=0,638\ Um,$$

то

$$U_{ср}=\frac{0,638}{0,707}U_{действ}=0,92U_{действ}.$$

При $U_{действ}=10$ *мв* $U_{ср}=9,2$ *мв*. Это напряжение и устанавливается резистором R_{49}.

Затем перевести переключатель $П_1$ в положение, соответствующее диапазону измерения 0—30 *мв*. По контрольному вольтметру точно установить входной сигнал напряжением 30 *мв*. Подбирая резистор R_{11}, установить стрелку микроамперметра на деление «30» (средняя шкала). Аналогичным способом осуществляется калибровка на поддиапазонах «100 *мв*», «300 *мв*» и «1 *в*».

Подгонка этих поддиапазонов производится соответственно резисторами R_{12}, R_{13} и R_{14}. Калибровка входного делителя осуществляется на поддиапазоне «3 *в*» подбором сопротивления резистора R_2. Эта операция автоматически устанавливает необходимые пределы измерения на остальных поддиапазонах («10 *в*», «30 *в*», «100 *в*» и «300 *в*»), так как в этом случае обеспечивается повторное подключение уже настроенных делителей аттенюатора.

Генератор калибровочного напряжения — мультивибратор T_8, T_9 налаживания не требует. При исправных деталях и правильно выполненном монтаже мультивибратор сразу начинает работать. На коллекторах транзисторов T_8 и T_9 должны наблюдаться импульсы прямоугольной формы.

Необходимое значение калибровочного напряжения устанавливается потенциометром R_{34}. Для этого следует перевести вольтметр в режим калибровки и, вращая движок потенциометра R_{34}, установить стрелку микроамперметра на деление «10» (шкала 0—10 *в*). Потенциометр должен быть снабжен фиксирующей гайкой.

Следующим этапом настройки является корректировка АЧХ вольтметра на высокой (1 *Мгц*) и низкой (20 *гц*) частотах. Сначала корректируется АЧХ сквозного тракта: согласующий усилитель — предварительный усилитель — измерительный усилитель. Коррекция осуществляется на поддиапазоне «10 *мв*». В этом случае входной делитель R_1, R_2 и аттенюатор R_{11} — R_{18} в работе не участвуют. На вход настраиваемого вольтметра от внешнего генератора подается сигнал частотой 1 *Мгц* и напряжением 10 *мв*, которое точно устанавливается по контрольному вольтметру. Подбирая емкость конденсатора C_{10}, установить стрелку измерительного прибора на отметку «10» (верхняя шкала). Затем корректируется АЧХ сквозного тракта совместно с аттенюатором. Коррекция производится на поддиапазонах «30 *мв*» и «100 *мв*» подбором емкости конденсаторов C_7 и C_8. Входное напряжение устанавливается при этом соответственно 30 и 100 *мв*. Последней на высокой частоте корректируется АЧХ входного делителя R_1, R_2. Коррекция осуществляется на поддиапазоне «3 *в*» с помощью конденсатора C_1.

В заключение следует проверить АЧХ вольтметра на частоте 20 *гц*. Проверку можно производить на любом поддиапазоне. Если АЧХ имеет спад на частоте 20 *гц*, следует уменьшить емкость конденсатора C_{11}. Как известно, чем ниже частота, тем больше реактивное сопротивление конденсатора. Таким образом, уменьшение емкости вызовет на низких частотах увеличение ООС предварительного усилителя по переменному току (каскад на транзисторе T_3). Подъем АЧХ компенсируется уменьшением емкости конденсатора C_9.

Правила работы с прибором. После включения прибора и двухминутного прогрева перед началом работы необходимо для повышения точности измерения произвести калибровку. Во избежание пробоя транзисторов согласующего устройства не следует допускать перегрузки его входных цепей напряжением, превышающим пределы установленного поддиапазона.

Электронный вольтметр калибруется в действующих и средних значениях и, следовательно, дает правильное показание только при измерении синусоидальных напряжений. При измерении несинусоидальных переменных напряжений возникает дополнительная ошибка, величина которой зависит от формы кривой.

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ

Генератор предназначен для регулировки и испытания различных усилительных устройств, для питания измерительных мостовых схем, модуляции несущей частоты измерительных радиочастотных генераторов и т. п.

Прибор представляет собой источник синусоидальных электрических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты. Рабочий диапазон частот генератора включает в себя также длинноволновый радиодиапазон и часть средневолнового, что позволяет настраивать входные цепи, усилители высокой и промежуточной частоты радиоприемников.

Генератор работает в диапазоне частот от 10 *гц* до 1 *Мгц*. Весь диапазон разбит на пять поддиапазонов: 10—100 *гц*, 100 *гц* — 1 *кгц*, 1—10 *кгц* и 10—100 *кгц* и 100 *кгц* — 1 *Мгц*. В пределах каждого поддиапазона частота изменяется плавно. Температурный коэффициент частоты не превышает $2 \cdot 10^{-4} 1/°C$.

Максимальное выходное напряжение не менее 5 *в* на сопротивлении нагрузки 300 *ом*. Изменение выходного напряжения осуществляется плавно, а также с помощью аттенюатора на 80 *дб*, ступенями через каждые 20 *дб*. Коэффициент нелинейных искажений в диапазоне частот 20 *гц* — 1 *Мгц* не более 1%. Неравномерность АЧХ составляет не более 0,4 *дб* во всем диапазоне частот. Погрешность аттенюатора не более ±3%. Его выходное сопротивление 200 *ом*. Напряжение на входе аттенюатора контролируется электронным вольтметром, максимальная погрешность которого не превышает ±3% во всем диапазоне частот.

Прибор питается от сети переменного тока напряжением 127 или 220 *в* ±10% с частотой 50 *гц*. При изменении напряжения питания в указанных пределах выходные параметры генератора сигналов не изменяются.

Электрическая принципиальная схема. Задающий генератор (ЗГ) прибора построен на основе усилителя

с непосредственной связью, работающего в классе А и имеющего две цепи обратной связи между входным и выходным каскадами: ПОС — благодаря которой в схеме развиваются колебания и ООС — с помощью которой стабилизируется амплитуда колебаний. Первая цепь представляет собой так называемый мост Вина.

Генератор с обратной связью по схеме моста Вина используется в тех случаях, когда требуются хорошая стабильность частоты, большое перекрытие по диапазону и постоянство амплитуды выходного сигнала при изменении частоты в широких пределах.

На рис. 19,*а* приведена упрощенная принципиальная схема ЗГ на мосте Вина. Цепь ПОС определяет частоту

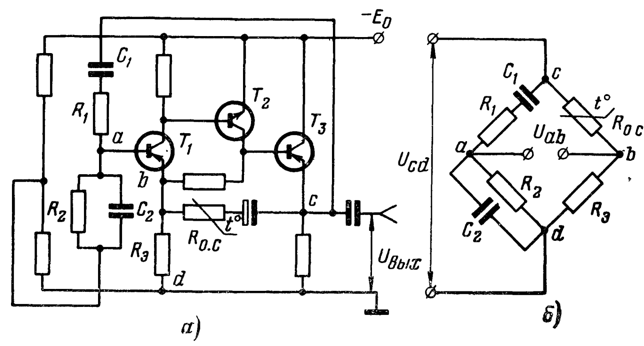


Рис. 19. Генератор синусоидальных колебаний, выполненный по схеме моста Вина.

а — генератор; *б* — мостовая схема обратной связи.

генерации; она образована из последовательно-параллельного соединения элементов C_1 и C_2. Зависимость коэффициента передачи этой цепи от частоты имеет вид резонансной кривой контура низкой добротности. Частоту генерации цепи можно рассчитать по формуле

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}.$$

Вторая половина моста из терморезистора $R_{о.с}$, имеющего отрицательный ТКС, и резистора $R_э$, входящего в цепь эмиттера транзистора, образует нелинейную цепь ООС. Терморезистор $R_{о.с}$ является нелинейным элементом, устанавливающим и поддерживающим (ЗГ работает в режиме мягкого возбуждения) амплитудные соотношения в цепи обратной связи автогенератора. Применение

его дает возможность получить малую величину искажений генерируемого синусоидального напряжения.

Терморезистор в цепи обратной связи работает следующим образом. Пока колебательный процесс в первые моменты после включения не достиг уровня установившихся колебаний и действующее значение тока через терморезистор мало, его температура соответственно низка, а сопротивление велико. Следовательно, глубина обратной связи достаточно мала и амплитуда колебаний возрастает. С ростом амплитуды действующее значение тока через терморезистор растет, его сопротивление уменьшается, что в свою очередь увеличивает глубину обратной связи. В соответствии с этим выходное напряжение растет медленнее, пока не достигает своего постоянного значения. Уменьшение выходного напряжения вызывает обратный эффект.

Так как терморезистор имеет значительную инерционность, то для мгновенных значений тока его сопротивление (за время периода колебаний) можно считать постоянной величиной и, следовательно, искажений формы колебаний не возникает, так как для данной амплитуды достаточно строго выдерживается равенство коэффициента усиления критическому. Таким же образом компенсируются возможные нестабильности транзисторов, резисторов, изменения амплитуды выходного сигнала при перестройке ЗГ и при изменении окружающей температуры.

С уменьшением R_1 и R_2 уменьшается R_{dc} (рис. 19, *а*), которое шунтирует выходной каскад T_2 по переменной составляющей. Поэтому минимальное сопротивление резисторов R_1 и R_2 при перестройке генератора определяется нагрузочной способностью выходного каскада. Для уменьшения этого ограничения в схему ЗГ введен эмиттерный повторитель T_3.

На рис. 20 показана практическая схема генератора на мосте Вина. В состав прибора входят следующие функциональные узлы: задающий генератор, усилитель мощности, выходной аттенюатор, электронный вольтметр и источник питания.

Задающий генератор собран на транзисторах T_1—T_3 по схеме трехкаскадного усилителя с непосредственной связью. Необходимый режим работы усилителя устанавливается резистором R_1. Частотозадающими элементами, входящими в состав ПОС, являются конденсаторы C_1

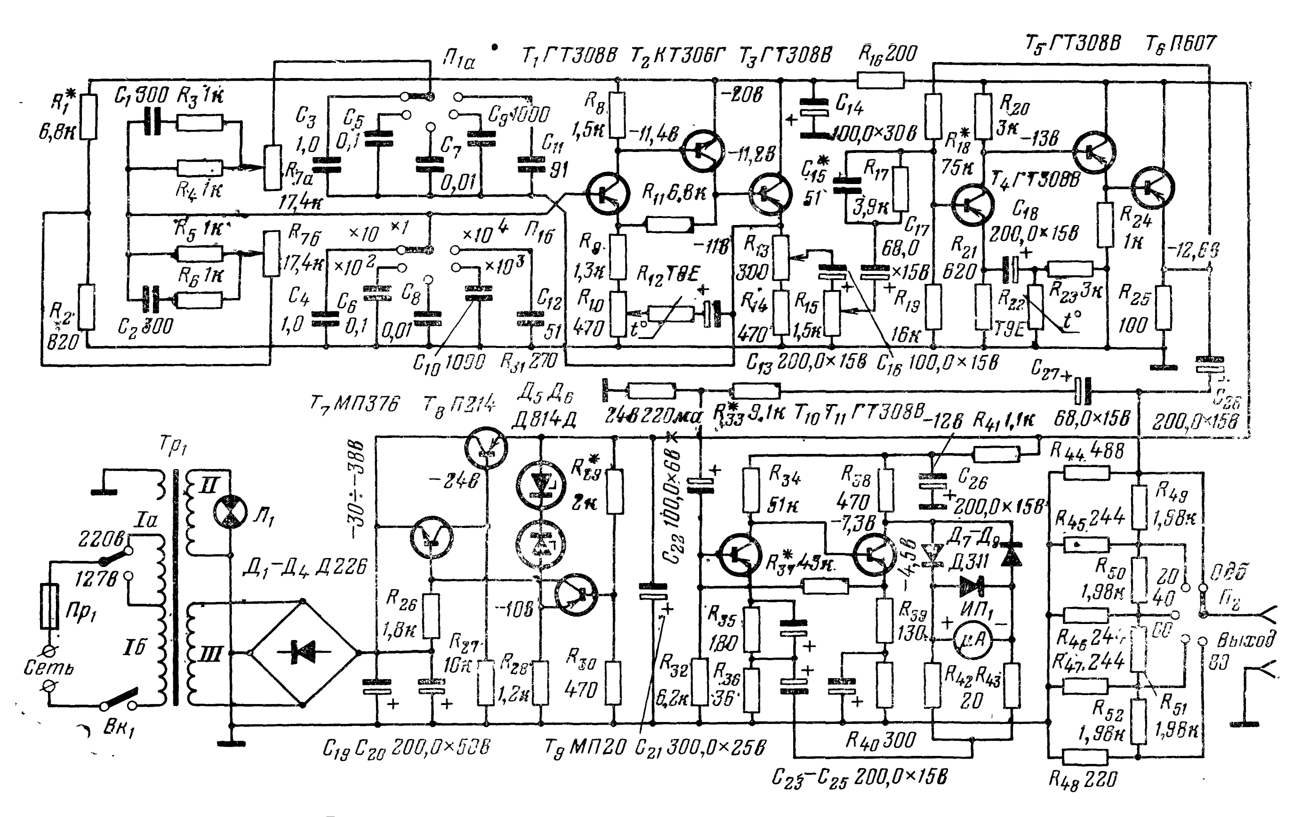


Рис. 20. Принципиальная схема генератора сигналов.

(C_5, C_7, C_9, C_{11}) и C_4 (C_6, C_8, C_{10}, C_{12}), с помощью которых осуществляется ступенчатое изменение частоты, и сдвоенный потенциометр $R_{7а}$, $R_{7б}$, который позволяет плавно изменять частоту в пределах поддиапазона.

От соотношения сопротивлений резистора R_4 (R_5) и подключенного плеча потенциометра $R_{7а}$ ($R_{7б}$) зависит коэффициент перекрытия по поддиапазону. На первых четырех поддиапазонах он остается практически постоянным. На пятом поддиапазоне (100 *кгц* — 1 *Мгц*) он уменьшается, так как с увеличением частоты сопротивление реактивных проводимостей транзистора T_1 уменьшается, что приводит к дополнительному шунтированию обмоток регулирующих потенциометров. Кроме того, на высоких частотах шунтирующее влияние оказывают межвитковые емкости обмоток и распределенные емкости конструкции потенциометров.

Поэтому если на высокочастотном поддиапазоне «$\times 10^4$», учитывая отмеченный эффект, установить (уменьшая сопротивление резисторов R_4 и R_5) требуемый коэффициент перекрытия, то на низкочастотных поддиапазонах он получается слишком большим, что приведет к уменьшению точности установки частоты. Для устранения этого недостатка в схему ЗГ введены частотно-зависимые цепи C_1, R_3 и C_2, R_6, шунтирующие ограничительные резисторы R_4, R_5 и осуществляющие выравнивание коэффициента перекрытия на пятом поддиапазоне. Это происходит следующим образом. На низкочастотном участке поддиапазона «$\times 10^4$» (100 *кгц*) полное сопротивление частотнозависимых цепей C_1, R_3 и C_2, R_6 достаточно велико, поэтому эти элементы слабо шунтируют резисторы R_4 и R_5. С увеличением частоты реактивное сопротивление конденсаторов C_1 и C_2 уменьшается и начинает заметно шунтировать эти резисторы. На частоте 1 *Мгц* общее сопротивление последовательно-параллельных цепей C_1, R_3, R_4 и C_2, R_5, R_6 уменьшается примерно в 2 раза, что увеличивает коэффициент перекрытия.

Цепь ООС, стабилизирующая амплитуду колебаний ЗГ, состоит из терморезистора R_{12} и конденсатора C_{13}, который не пропускает через нелинейный элемент постоянную составляющую тока эмиттера. Необходимая глубина ООС устанавливается потенциометром R_{10}.

С нагрузки выходного каскада ЗГ — резистора R_{14} и установочного потенциометра R_{13} напряжение генерируемой частоты поступает через разделительный конденса-

тор C_{16} на потенциометр R_{15}, с помощью которого можно плавно менять амплитуду выходного сигнала. Далее сигнал, снимаемый с регулирующего потенциометра, через разделительный конденсатор C_{17} и корректирующую цепь R_{17}, C_{15} поступает на усилитель мощности. Конденсатор C_{15} осуществляет подъем АЧХ, некоторый спад которой на высокочастотном участке поддиапазона 100 *кгц* — 1 *Мгц* обусловлен снижением коэффициента усиления транзисторов на ВЧ.

Усилитель мощности построен на транзисторах T_4—T_6 с непосредственной связью. В состав усилителя мощности входят каскад усиления по напряжению на транзисторе T_4 и составной эмиттерный повторитель на транзисторах T_5, T_6, осуществляющий усиление на току. Каскад усиления предназначен для повышения выходного напряжения генератора и для осуществления стабилизации этого напряжения при изменении окружающей температуры, так как одна обратная связь в ЗГ (терморезистор R_{12}) не обеспечивает эффективной стабилизации. Дополнительная стабилизация осуществляется с помощью терморезистора, включенного по переменному току в цепь последовательной ООС по току каскада усиления (транзистор T_4). При повышении окружающей температуры напряжение на эмиттере транзистора T_3 понижается из-за увеличения ООС, вызванного снижением сопротивления терморезистора R_{12}. В результате уменьшается также напряжение сигнала на коллекторе транзистора T_4. Вместе с тем повышение окружающей температуры приводит к понижению сопротивления терморезистора R_{22}, что вызывает уменьшение глубины ООС по переменному току в каскаде на транзисторе T_4. Таким образом, на входе составного эмиттерного повторителя поддерживается постоянное по амплитуде напряжение усиленного сигнала. Степень температурной компенсации определяется сопротивлением резистора R_{23}, шунтирующего терморезистор.

Составной эмиттерный повторитель T_5, T_6 выполняет функцию буферного устройства между усилительным каскадом T_4, имеющим высокое выходное сопротивление (сотни ом), и аттенюатором R_{44} — R_{52}, имеющим низкое входное. Применение составного эмиттерного повторителя дает возможность согласовать эти сопротивления и значительно уменьшить шунтирующее влияние нагрузки, подключаемой к выходу генератора. Для увеличения на-

грузочной способности генератора сигналов второй каскад составного эмиттерного повторителя выполнен на мощном высокочастотном транзисторе.

Нагрузкой повторителя является выходной аттенюатор, который состоит из последовательно соединенных П-образных звеньев, выполненных на резисторах R_{44} — R_{52}. Выбранная схема аттенюатора обеспечивает постоянство выходного сопротивления независимо от положения переключателя $П_2$. Кроме того, такое включение звеньев в аттенюаторе позволяет обойтись переключателем на одно направление. Аттенюатор обеспечивает общее ослабление выходного сигнала до 80 *дб* ступенями через каждые 20 *дб*.

Для контроля напряжения на выходе эмиттерного повторителя в схему генератора сигналов введен электронный вольтметр. Он собран на транзисторах T_{10} и T_{11}. Схемные особенности этого устройства подробно разобраны в описании конструкции электронного вольтметра.

Источник питания генератора сигналов состоит из трансформатора $Тр_1$, выпрямительного моста $Д_1$—$Д_4$ и компенсационного стабилизатора T_7—T_9. Схема стабилизатора аналогична примененному в частотомере.

Конструкция прибора и детали. Конструктивно прибор выполнен в виде двух монтажных плат, вставленных в металлический кожух и крепящихся с помощью стоек к вертикальной лицевой панели (рис. 21.) Размер кожуха

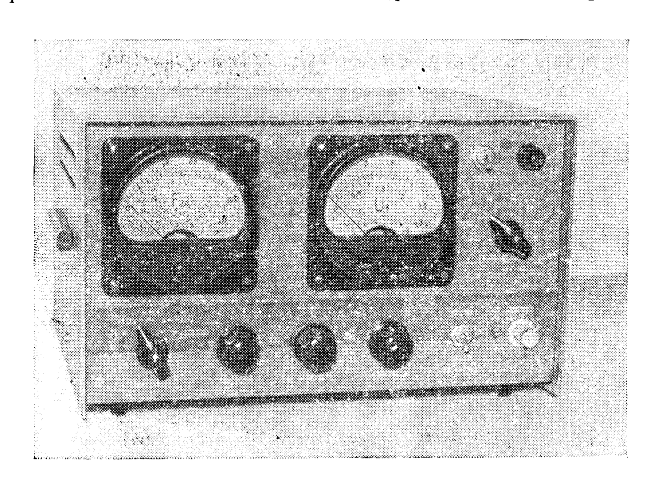


Рис. 21. Внешний вид генератора сигналов.

150×260×200 *мм*. Материал дюралюминий толщиной 2 *мм*.

На передней панели размещены все оперативные органы управления и индикации: ручка установки частоты сдвоенного потенциометра $R_{7а}$, $R_{7б}$, переключатель поддиапазонов $П_1$, регулятор выходного напряжения потенциометр R_{15}, переключатель аттенюатора $П_2$, стрелочные индикаторы установки частоты (см. вариант генератора со стрелочным индикатором) и выходного напряжения, выходной коаксиальный разъем, тумблер включения сети $Вк_1$ и индикаторная лампа $Л_1$.

Монтажные платы выполнены из гетинакса толщиной 2 *мм* и имеют размеры 135×240 *мм*. На одной плате размещены усилитель ЗГ (T_1—T_3) и усилитель мощности (T_4—T_6), на другой — электронный вольтметр и источник питания.

Элементы, определяющие диапазон генерируемых частот (C_3—C_{12}), смонтированы непосредственно на плате переключателя $П_1$. Звенья аттенюатора R_{44}—R_{52} монтируются на переключателе $П_2$. Такой монтаж позволяет свести к минимуму частотную погрешность за счет индуктивности и емкости соединительных проводов.

К деталям, входящим в состав частотнозадающих цепей, предъявляются повышенные требования как по стабильности, так и по точности подбора. В схеме моста Вина могут быть использованы слюдяные конденсаторы типа КСГ, КСО или СГМ, а также металлобумажные типа МПГП, обладающие малым ТКЕ. Точность подбора этих конденсаторов должна быть не ниже 1—2%. Можно применить широко распространенные конденсаторы типа БМ или МБМ, но температурная стабильность частоты в этом случае снизится.

Наиболее ответственной деталью генератора является сдвоенный потенциометр $R_{7а}$, $R_{7б}$, от технических показателей которого зависят все выходные параметры задающего генератора. Желательно, чтобы сопротивления этих потенциометров при вращении движка изменялись по логарифмическому закону, что позволяет растянуть начальный участок шкалы поддиапазона. Кроме того, эти потенциометры должны иметь достаточно высокую точность согласования по углу. В данном генераторе применен сдвоенный потенциометр типа ПТП-2Б (17,4 *ком* ±2%), разработанный специально для ЗГ на транзисторах.

Применять в схеме ЗГ сдвоенные потенциометры типа СПIII или другие низкого класса точности нельзя, так как при этом невозможно получить устойчивую генерацию частоты выше 100—200 *кгц*. На более низких частотах эти потенциометры могут обеспечивать удовлетворительные выходные показатели прибора. Сдвоенный потенциометр в этом случае необходимо взять также с логарифмической шкалой типа СПIIIБ. В данной конструкции потенциометр снабжен верньерным устройством с передаточным числом 1 : 6.

Стрелочный прибор ИП типа Ц-29 чувствительностью 100 *мка*. Шкала прибора проградуирована в значениях действующего напряжения 0—5 *в*. Можно применить любой другой микроамперметр чувствительностью 100—200 *мка* аналогичного типа.

В качестве транзисторов T_1—T_5, T_{10} и T_{11} могут быть применены любые высокочастотные маломощные транзисторы соответствующей проводимости, у которых верхняя граничная частота усиления $f_\alpha > 40$ *Мгц*, статический коэффициент усиления $\beta_{ст} > 40$ и допустимое напряжение $U_{к.э} > 15$ *в*. Транзистор T_6 можно выбрать любым из серии П607—П609. Его необходимо установить на радиаторе с теплообменной поверхностью 150—200 *см*^{2}. Транзисторы T_7 и T_9, входящие в состав стабилизатора напряжения,— любые низкочастотные с $\beta_{ст} > 30$ и $U_{к.э} > 20$ *в*. Транзистор T_8 любой из серии П213—П217, имеющий $\beta_{ст} > 40$, он должен быть снабжен радиатором с теплообменной поверхностью не менее 200 *см*^{2}.

Обмотки силового трансформатора наматываются на два тороидальных магнитопровода МТ-10, имеющих наружный и внутренний диаметры 55 и 37 *мм* соответственно. Марка стали Э330. Сетевая обмотка имеет 2 200 витков провода ПЭВ-2 0,25 с отводом от 1 270 витка, обмотка II — 200 витков и провода ПЭВ-2 0,25, обмотки III — 370 витков провода ПЭВ-2 0,41. Поверх сетевой обмотки в один слой наматывается экранирующая обмотка проводом ПЭВ-2 0,25.

Настройка прибора и градуировка. Для качественной настройки генератора сигналов необходимы следующие приборы: авометр, генератор сигналов, ламповый вольтметр и осциллограф. Последние три прибора должны иметь рабочий диапазон частот от 20 *гц* до 1 *Мгц*.

После предварительной проверки монтажа плат и межплатных соединений генератора можно приступить

к налаживанию источника питания. Как правило, наладка не вызывает затруднений и сводится к установлению режима стабилизатора, обеспечивающего необходимое выходное напряжение 24 *в*. Это напряжение устанавливается подбором сопротивления резистора R_{29}.

Последующее налаживание генератора сигналов проводится в следующем порядке: ЗГ, усилитель мощности и затем электронный вольтметр.

Сначала необходимо проверить режимы транзисторов указанных функциональных узлов по постоянному току. Для этого надо отключить цепь избирательной обратной связи, отпаяв провода от движков потенциометра R_{10} и переключателя $П_{1а}$. Необходимое значение режимов транзисторов по постоянному току приведены на принципиальной схеме (рис. 20). Если эти режимы отличаются от указанных на схеме более чем на $\pm 10\%$, их необходимо отрегулировать. Заданные режимы усилителя ЗГ T_1—T_3 устанавливаются изменением сопротивления резистора R_1, в усилителе мощности T_4—T_6 — резистор R_{18}, в электронном вольтметре T_{10}, T_{11} — резистор R_{37}.

Проверка работы каскадов по переменному току производится при помощи генератора сигналов, лампового вольтметра и осциллографа, начиная с усилителя мощности T_4—T_6. К выходу налаживаемого генератора подключают осциллограф и ламповый вольтметр. Переключатель аттенюатора $П_2$ установить в положение «0». Контрольный генератор сигналов, настроенный на частоту 1 000 *гц*, соединяют с нижней (по схеме) обкладкой конденсатора C_{17}, предварительно отсоединив его от движка потенциометра R_{15}. Правильно настроенный по постоянному току усилитель мощности должен обеспечивать на выходе неискаженный (без ограничения) сигнал амплитудой не менее 5,5 *в*. Коэффициент усиления по напряжению должен составлять 3—3,5.

Затем необходимо проверить выходное напряжение и коэффициент усиления каскадов ЗГ. Для этого осциллограф и вольтметр переменного тока подключают к эмиттеру транзистора T_3, а контрольный генератор — через дополнительную разделительную емкость к базе транзистора T_1. При этом максимальный неискаженный сигнал должен быть не менее 3—3,5 *в*, а коэффициент усиления всех каскадов — не менее 4—5.

Сквозной тракт генератора, включающего в себя каскады на транзисторах T_1—T_6, должен иметь на частоте

1 000 *гц* коэффициент усиления 12—18. Перед измерением коэффициента усиления движки потенциометров R_{13} и R_{15} необходимо установить в верхние (по схеме) положения.

Проверив работу каскадов генератора в режиме усиления на частоте 1 000 *гц*, следует проверить их частотную характеристику. При изменении частоты и неизменном напряжении контрольного генератора сигналов, подключенного на вход первого каскада T_1, напряжение, снимаемое с выхода налаживаемого генератора, должно изменяться не более чем на 1,5—2% в диапазоне частот от 20 *гц* до 1 *Мгц*. Если на высокочастотном участке указанного диапазона имеет место завал (подъем) АЧХ более чем на 2%, нужно увеличить (уменьшить) емкость конденсатора C_{15}. Увеличение неравномерности АЧХ (как правило, завал) на низкочастотном участке настраиваемого диапазона может быть причиной плохого качества разделительных конденсаторов C_{16} и C_{17}.

После проверки АЧХ необходимо восстановить схему, подключив ранее отсоединенные цепи обратной связи. Переключатель поддиапазонов $П_1$ установить в положение «×10» (поддиапазон 100 *гц* — 1 *кгц*), а движок сдвоенного потенциометра $R_{7а}$, $R_{7б}$ — в одно из крайних положений. К эмиттеру транзистора T_3 подключить осциллограф и ламповый вольтметр. Поворачивая движок потенциометра R_{10}, регулирующего глубину стабилизирующей ООС, добиться устойчивой генерации сигнала с неискаженной синусоидальной формой. Если такого режима не удается достичь (спады синусоиды могут иметь волнистый характер), это указывает на неисправность терморезистора R_{12}, который необходимо заменить. Затем перевести движок сдвоенного потенциометра в другое крайнее положение. Если амплитуда сигнала при этом изменилась, восстановить ранее отмеченное значение тем же потенциометром R_{10}. Далее перевести движок потенциометров $R_{7а}$, $R_{7б}$ в первоначальное положение и повторить настройку. Проделав эту операцию 3—4 раза, можно добиться практически постоянной амплитуды генерируемого сигнала по всему поддиапазону. В зависимости от разброса параметров терморезистора и положения движка потенциометра R_{10} установившееся значение амплитуды сигнала на эмиттере транзистора T_3 будет 1,2—2 *в*. Далее перевести движок потенциометра R_{15} в положение, соответствующее максимальному выходному сигналу, и

с помощью переменного резистора R_{13} установить на выходе генератора сигнал напряжением 5—5,5 *в*.

На поддиапазонах «×1», «×10^2», «×10^3» и «×10^4» выходной сигнал должен сохранять установившееся значение напряжения с неравномерностью не более 0,4 *дб*. Если на высокочастотном участке поддиапазона 100 *кгц*—1 *Мгц* неравномерность АЧХ будет больше указанной, следует скорректировать емкость конденсатора C_{15}.

Шкалы частот прибора градуируются с необходимой точностью на поддиапазонах 100 *гц*—1 *кгц* и 100 *кгц* — 1 *Мгц* при помощи контрольного генератора. На поддиапазонах 10—100 *гц*, 1—10 *кгц* и 10—100 *кгц* используется первая шкала. Точные границы указанных поддиапазонов, соответствующих этой шкале, устанавливаются посредством подбора попарно емкостей конденсаторов C_3—C_4, C_7—C_8 и C_9—C_{10}.

Заключительным этапом настройки прибора является калибровка электронного вольтметра. Для этого налаживаемый генератор следует настроить на частоту 1 000 *гц* и с помощью контрольного лампового вольтметра установить на выходе стрелку измерительного прибора $ИП_1$ в крайнее правое положение, соответствующее отметке «5 *в*». Шкала микроамперметра должна быть при этом отградуирована в значениях напряжения 0—5 *в*. Затем следует проверить АЧХ вольтметра на частоте 1 *Мгц*. Если на этой частоте будет наблюдаться завал (подъем) характеристики, следует подключить параллельно резистору R_{33} (R_{31}) корректирующий конденсатор (емкостью порядка десятков *пф*).

Задающий генератор с блоком переменной емкости. При разработке ЗГ в любительских условиях одной из основных трудностей является выбор элементов, при помощи которых будет осуществляться плавная перестройка частоты.

В ламповых генераторах, как правило, применяется схема с фазирующей цепочкой (мост Вина), в которой используется сдвоенный блок переменной емкости с максимальной емкостью 500—1 000 *пф*. Применение такого блока в генераторах на обычных транзисторах вызывает трудности, так как $R_{вх}$ на подобных элементах значительно меньше, чем ламповых. Поэтому практически не удается получить генерацию сигналов частотой ниже 200—300 *гц*. Это объясняется тем, что расчетные сопро-

тивления, входящие в состав частотнозадающих элементов моста Вина, на этих частотах получаются порядка нескольких Мом. Однако такие сопротивления сильно шунтируются низкоомными входными цепями транзисторных каскадов.

Для устранения этого недостатка в ЗГ при осуществлении плавной перестройки частоты обычно применяют сдвоенный потенциометр. Для обеспечения хороших технических показателей генератора эти потенциометры должны иметь логарифмический закон изменения сопротивления, малый допуск на номинал и высокую точность согласования по углу. Применение в генераторах распространенных сдвоенных переменных сопротивлений типа СП-III-Б и СП-III-В для управления транзисторным генератором вызывает ряд затруднений ввиду того, что такие потенциометры имеют большие допуски не только по номинальному значению, но и по точности согласования между собой. Поэтому при изменении угла поворота оба сопротивления изменяются неодинаково, что приводит к большим колебаниям величины генерируемого напряжения и даже срыву колебаний.

В предлагаемой схеме ЗГ используется полевой транзистор. Отличительной особенностью полевого транзистора является высокое входное сопротивление, приближающее его в этом отношении к лампам. Поэтому представляется возможность использовать для перестройки частоты блок конденсаторов переменной емкости.

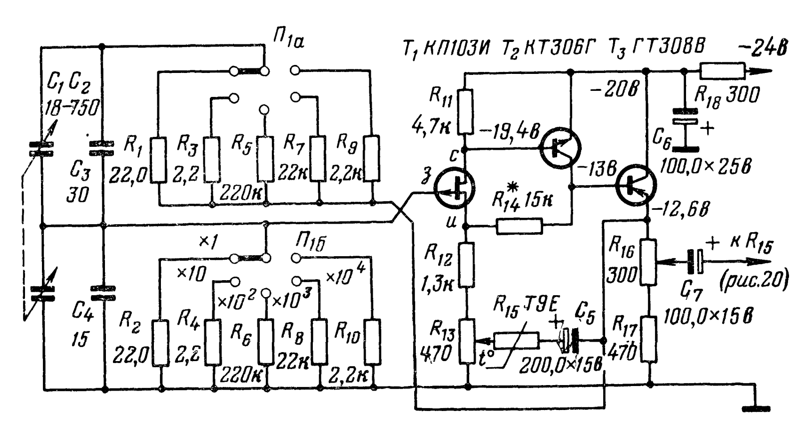


Рис. 22. Принципиальная схема задающего генератора на полевом транзисторе.

Принципиальная схема генератора приведена на рис. 22. Первый каскад ЗГ собран на полевом транзисторе. В остальном схема аналогична схеме ЗГ, изображенной на рис. 20. Следует только остановиться на некоторых вопросах конструкции.

В ЗГ применен конденсатор переменной емкости от радиоприемника «Сакта» (три секции по 510 *пф*). Блок статорных пластин средней секции, закрепленной на четырех фарфоровых стойках, делится на две части разрезанием пластинодержателей. Средняя пластина удаляется. Соединив полученные полусекции с крайними секциями, можно получить сдвоенный блок конденсаторов с максимальной емкостью 2×750 *пф*. Можно применить любой другой сдвоенный блок конденсаторов, емкость которого не меньше указанной.

Все элементы ЗГ должны монтироваться единым блоком и тщательно экранироваться. Ось конденсатора переменной емкости необходимо изолировать от корпуса прибора. Для устранения влияния руки оператора на частоту генератора ось, на которой крепится ручка перестройки частоты, должна быть изготовлена из изоляционного материала. В генераторе могут быть применены полевые транзисторы типа КП103 с любым буквенным индексом.

Коэффициент усиления каскадов ЗГ при разомкнутой обратной связи будет от 4 до 15 в зависимости от параметров полевого транзистора. Максимальный неискаженный сигнал на эмиттере транзистора T_3 должен быть 1,5—3,5 *в*. Режимы транзисторов по постоянному току устанавливаются резистором R_{14}, сопротивление которого может изменяться от 5 до 50 *ком*.

Дальнейшая методика настройки ЗГ остается прежней. Следует только отметить, что частота генерации на поддиапазоне «$\times 10^4$» в этом варианте уменьшится до 500—700 *кгц*.

Генератор сигналов со стрелочным частотомером. В описываемом генераторе сигналов целесообразно применить стрелочный измеритель частоты, что позволит иметь единую линейную шкалу частот для всех поддиапазонов. За основу измерителя можно взять часть схемы частотомера (см. рис. 2). На рис. 21 показан внешний вид генератора с встроенным частотомером. Из схемы частотомера надо исключить аттенюатор и каскады на транзисторах T_1—T_4. Переменный сигнал для измерения

частоты следует брать с эмиттера транзистора T_3 (рис. 20). Для устранения влияния входных цепей триггера частотомера на форму генерируемого сигнала перед триггером следует включить эмиттерный повторитель, а сигнал снимать с части эмиттерного сопротивления. Указанные соединения и схема эмиттерного повторителя приведены на рис. 23. Платы переключателя $П_{3б}$ диапа-

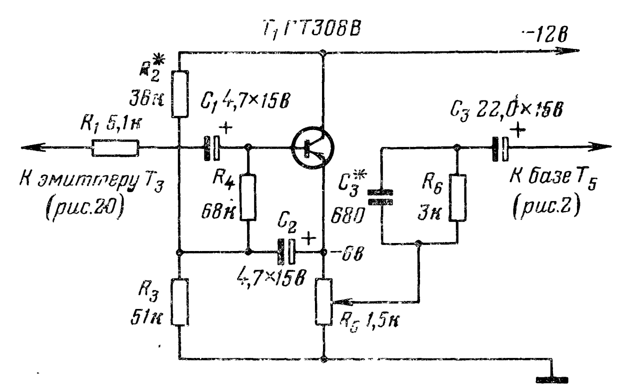


Рис. 23. Принципиальная схема согласующего повторителя.

зонов измерения частоты (рис. 2) и $П_{3в}$ (рис. 7) устанавливаются на переключателе диапазонов $П_1$ генератора (рис. 20).

В источнике питания этого варианта генератора сигналов необходимо предусмотреть получение напряжений смещения для делителя частоты (+1,5 *в*) и измерительной цепи (+9 *в*). Схема источника питания, позволяющая получить эти напряжения, приведена на рис. 8. Для этого может быть использована обмотка *II* трансформатора генератора сигналов. Для питания коллекторных цепей транзисторов делителя частоты применен отдельный стабилизатор напряжения на 12 *в* (рис. 24). Это обычный параметрический стаби-

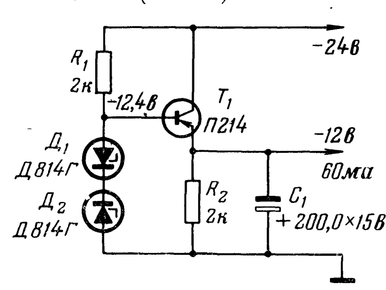


Рис. 24. Принципиальная схема стабилизатора на напряжение 12 *в*.

лизатор $Д_1$ с температурной компенсацией $Д_2$ и усилителем постоянного тока T_1. Транзистор стабилизатора должен быть установлен на небольшой радиатор.

С помощью потенциометра R_5 (рис. 23) при настройке измерителя частоты устанавливается такая амплитуда сигнала, при котором обеспечивается устойчивый запуск триггера.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ

Генератор импульсов предназначен для настройки и испытания широкополосных и импульсных схем, различных пересчетных устройств, усилителей видеочастоты и других целей. Генератор представляет собой источник прямоугольных импульсов обеих полярностей с крутыми фронтами и плоской вершиной изменяемых по длительности, частоте следования и амплитуде.

В приборе предусмотрена возможность получения импульсов с постоянной скважностью, равной двум («меандр») во всем диапазоне частот. Частота следования импульсов на выходе генератора регулируется в пределах 10 *гц* — 100 *кгц*. Диапазон частот разбит на четыре поддиапазона: 10—100 *гц*, 100 *гц*—1 *кгц*, 1—10 *кгц* и 10—100 *кгц*. Внутри каждого поддиапазона частота регулируется плавно.

Длительность импульсов регулируется от 5 *мксек* до 50 *мсек*. Перекрытие указанного предела обеспечивается четырьмя поддиапазонами: 5—50 *мксек*, 50 *мксек*—0,5 *мсек*, 0,5—5 *мсек* и 5—50 *мсек*. Установка длительности импульсов производится по стрелочному прибору с точностью не ниже ±5%.

Максимальная амплитуда импульсов для обеих полярностей составляет 15 *в* и регулируется плавно не менее 30 *дб*. Встроенный аттенюатор позволяет получить дополнительно ослабление на 40 *дб*. Погрешность измерения амплитуды импульсов составляет не более ±3%.

Длительность фронта и среза выходных импульсов обеих полярностей в пределах 0,1—0,9 U_m не превышают 1 *мксек* при работе на емкостную нагрузку 2 000 *пф*.

В генераторе предусмотрен разовый пуск от кнопки, обеспечивающий на выходе одиночный импульс заданной длительности.

Предусмотрен также режим формирования импульсов от сети 50 *гц*.

Питание прибора — от сети переменного тока частоты 50 *гц*, с номинальными напряжениями 127 или 220 *в* ± 10%. Изменение напряжения сети в указанных пределах не влияет на выходные параметры генератора.

Электрическая принципиальная схема. Генератор импульсов, принципиальная схема которого приведена на рис. 25, состоит из следующих основных узлов: задающего генератора, формирователя запускающих импульсов, формирователя выходных импульсов обеих полярностей, усилителя мощности, измерительных цепей и источника питания.

Задающий генератор собран на транзисторах T_1—T_3. Схема последнего аналогична примененной в конструкции генератора сигналов (рис. 20). Выбор поддиапазона частоты следования импульсов в данном случае осуществляется переключателем $П_1$, плавное изменение частоты — сдвоенным потенциометром $R_{4а}$, $R_{4б}$.

Для формирования запускающих импульсов прямоугольной формы из синусоидального сигнала применено пороговое устройство — триггер Шмидта, состоящий из транзисторов T_4 и T_5. Подробно работа данного устройства описана в конструкции частотомера. Триггер позволяет получить запускающие импульсы с постоянной крутизной фронтов во всем диапазоне частот входного сигнала. Делитель напряжения R_{13} и R_{14} и резистор R_{16} введены для ослабления влияния низкоомной входной цепи триггера на режим ЗГ. С помощью конденсатора C_{12} осуществляется коррекция амплитудной характеристики на высокочастотном участке диапазона. Режим работы триггера выбирается таким, чтобы импульсы, снимаемые с коллектора транзистора T_5, имели скважность, равную двум, т. е. когда длительности импульса и паузы равны. Такой вид сигнала прямоугольной формы носит название «меандр». Установка такого режима осуществляется изменением резистора R_{17}.

Через дифференцирующую цепочку, состоящую из конденсатора C_{15} и резистора R_{24} и разделительный диод $Д_1$, сформированный триггером сигнал поступает на блок формирования выходных импульсов. Назначение дифференцирующей цепочки и разделительного диода рассмотрены в описании частотомера.

Блок формирования позволяет получить на выходе генератора импульсы прямоугольной формы, длительность которых можно регулировать. Формирователь по-

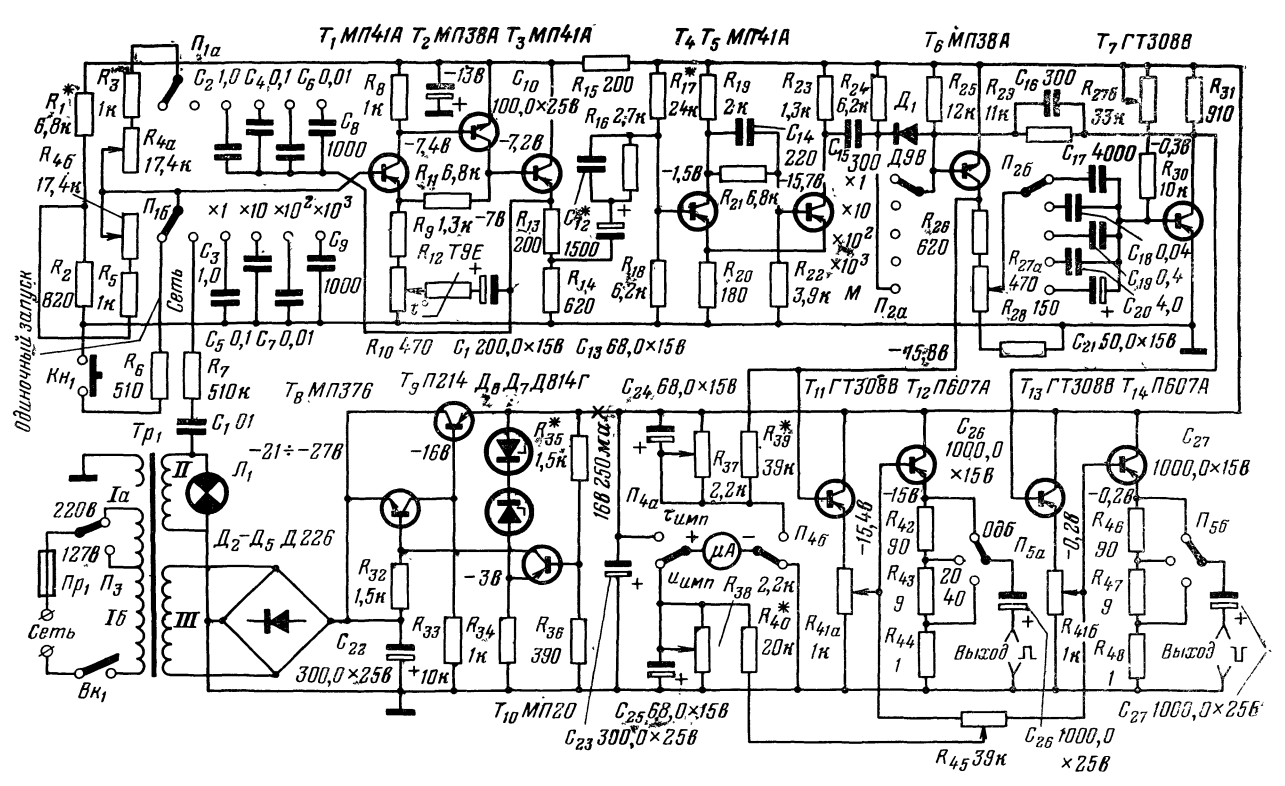


Рис. 25. Принципиальная схема генератора импульсов.

строен на основе ждущего мультивибратора (транзисторы T_6, T_7). Подробно схема такого мультивибратора описана в конструкции частотомера (см. рис. 2). Существенной особенностью данной схемы является то, что она позволяет формировать импульсы положительной и отрицательной полярности, снимаемые соответственно с коллекторов транзисторов T_6 и T_7. Кроме того, схема обеспечивает высокую крутизну фронтов сформированных импульсов (0,5—0,8 *мксек*), практически плоскую вершину и амплитуду, близкую к напряжению питания.

Длительность импульсов, сформированных мультивибратором, зависит от времязадающих элементов: емкости конденсаторов C_{17}—C_{20}, сопротивлений потенциометра $R_{27б}$ и резистора R_{30}, а также от величины положительного перепада напряжения на базе транзистора T_7, которое изменяется потенциометром $R_{27а}$. Переключателем $П_{2б}$ осуществляется ступенчатое изменение длительности, кратное 10, путем смены времязадающих конденсаторов C_{17}—C_{20}. Плавное изменение длительности производится сдвоенным потенциометром $R_{27а}$, $R_{27б}$.

Для расширения перекрытия по поддиапазону введено комбинированное регулирование длительности. В первом случае регулирование производится за счет изменения времязадающего (разрядного) сопротивления (потенциометр $R_{27б}$) в цепи базы транзистора T_7. Резистор R_{30} служит для ограничения тока базы этого транзистора, предотвращающего глубокое насыщение, так как это приводит к затягиванию фронтов, искажению формы и уменьшению амплитуды выходных импульсов, а также может привести к срыву колебаний.

Во втором случае регулирование длительности импульсов осуществляется за счет потенциометрического съема напряжения с коллекторной нагрузки транзистора T_6. В этом случае величина заряда времязадающего конденсатора, а следовательно, и длительность импульсов зависят от положения движка потенциометра $R_{27а}$. Резисторы R_{26} и R_{28} выполняют роль ограничительных сопротивлений. Комбинированное регулирование длительности импульсов позволило обеспечить перекрытие по поддиапазону не менее 10. Амплитуда выходных импульсов и крутизна фронтов при этом не изменяются.

Формирование прямоугольных импульсов с постоянной скважностью, равной двум, происходит следующим образом. В положении переключателя $П_{2а}$, соответствую-

щем режиму «меандр», в качестве времязадающей емкости к ждущему мультивибратору подключается конденсатор C_{21}. Емкость этого конденсатора выбрана такой, чтобы ждущий мультивибратор был настроен на формирование импульсов, длительность которых была бы заведомо больше половины периода самой низкой частоты (10 *гц*) ЗГ, независимо от положения движков потенциометров $R_{27а}$ и $R_{27б}$. Это позволяет получить заданную скважность при любой частоте следования импульсов. В этом же режиме с помощью переключателя $П_{2а}$ закорачивается разделительный диод $Д_1$. Таким образом, мультивибратор будет запускаться отрицательным импульсом, поступающим с дифференцирующей цепочки C_{15}, R_{24} и образованным передним фронтом входного прямоугольного сигнала, и возвращаться в исходное состояние положительным импульсом, соответствующим срезу импульса. А так как триггер Шмидта настроен, как было отмечено, на формирование прямоугольных запускающих импульсов, скважность которых равна двум независимо от частоты следования, то и выходные импульсы, сформированные ждущим мультивибратором, будут иметь такую же скважность. Крутизна фронтов при этом не ухудшается.

Режим формирования импульсов с частотой питающей сети осуществляется при установлении переключателя $П_1$ в положение *Сеть*. При этом фазирующие емкости задающего генератора отключаются. На базу транзистора T_1 через разделительный конденсатор C_1 и гасящий резистор R_7 с обмотки *II* сетевого трансформатора $Тр_1$ подается напряжение частотой 50 *гц*. Таким образом, на эмиттере транзистора T_3 возникает сигнал синусоидальной формы с амплитудой, равной напряжению генерации. Дальнейшее преобразование сигнала осуществляется, как и прежде.

Для осуществления разового пуска переключатель $П_1$ устанавливается в положение *Одиночный запуск*. Фазирующие емкости ЗГ отключаются и в этом случае. При нажатии кнопки $К_{н1}$ база транзистора T_1 замыкается на корпус прибора через низкоомный резистор R_6. Возникающий на базе транзистора T_1 положительный перепад напряжения запирает последний. В свою очередь транзистор T_2 закрывается, а на выходе эмиттерного повторителя T_3 появляется положительный перепад напряжения, который через разделительный

конденсатор C_{13} и резистор R_{16} поступает на базу транзистора T_4 триггера Шмидта. Вследствие этого транзистор T_4 закрывается, а T_5 открывается. Тем самым на выходе триггера формируется срез запускающего импульса. После перезаряда конденсатора C_{13}, который длится 200 *мсек*, триггер Шмидта возвращается в исходное состояние. На коллекторе транзистора T_5 в этом случае формируется передний фронт. Ему соответствует отрицательный импульс на дифференцирующей цепочке, который и воздействует через диод $Д_1$ на ждущий мультивибратор. Благодаря интегрирующему действию конденсатора C_{13}, создающему задержку отрицательного запускающего импульса на 200 *мсек*, устраняется появление «ложных» запускающих импульсов, вызванных дребезгом контактов кнопки $К_{н1}$.

Сформированные ждущим мультивибратором импульсы отрицательной и положительной полярности поступают на усилители мощности, собранные на транзисторах T_{11}, T_{12} и T_{13}, T_{14}. Усилители мощности собраны по схеме составного эмиттерного повторителя, позволяющего получить низкоомный выход и имеющего достаточно высокоомный вход, не влияющий на параметры сформированных импульсов. В усилителях мощности производится регулировка амплитуды выходных импульсов. Плавное изменение амплитуды осуществляется сдвоенным потенциометром $R_{41а}$, $R_{41б}$. Для ступенчатого изменения выходного сигнала служат делители из резисторов R_{42} — R_{44} и R_{46} — R_{48}, стоящие в цепях эмиттеров мощных транзисторов T_{12} и T_{14}. Делители позволяют получить ослабление в 10 и 100 раз. Переключение этих пределов осуществляется переключателем $П_5$.

Генератор имеет емкостный выход, что приводит к потере постоянной составляющей импульсного сигнала. Но в практике настройки радиотехнических устройств часто возникает необходимость получения импульсов, привязанных к нулевому уровню, т. е. имеющих постоянную составляющую, или требуется иметь непосредственный выход с оконечных каскадов, что обеспечивает неискаженную передачу импульсов на низкоомную нагрузку. Низкоомная нагрузка приводит к дифференцированию импульсов при наличии переходных конденсаторов.

Для восстановления постоянной составляющей можно применить фиксаторы нулевого уровня, в качестве кото-

рых могут быть использованы полупроводниковые диоды (рис. 26). Для получения непосредственного выхода можно устранить из схемы переходные конденсаторы

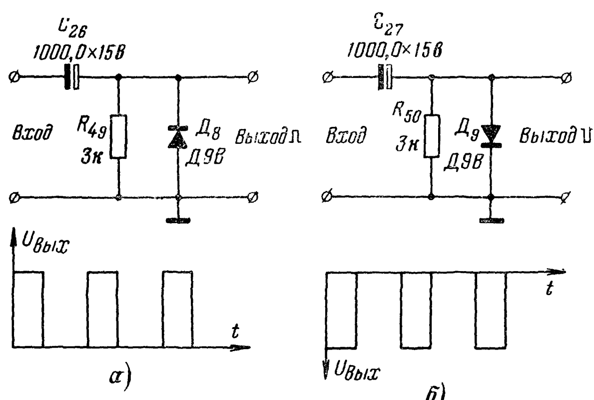


Рис. 26. Фиксаторы нулевого уровня на полупроводниковых диодах.

а — фиксатор нулевого уровня снизу; *б* — фиксатор нулевого уровня сверху.

C_{26} и C_{27}, но в этом случае возникает опасность пробоя выходных транзисторов при случайном замыкании в нагрузке. Для устранения этого недостатка на входе стабилизатора напряжения T_8—T_{10} необходимо включить электронный предохранитель (см. стр. 87).

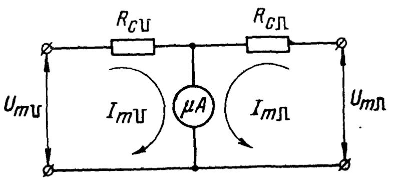


Рис. 27. Эквивалентная схема измерителя амплитуды.

Амплитуда импульсов на выходе генератора контролируется импульсным вольтметром. В основу измерения амплитуды импульсов положен метод суммирования на измерительном приборе (микроамперметре) двух импульсных противофазных сигналов, имеющих равную длительность и привязанных к одному и тому же нулевому уровню, в нашем случае к нулевому уровню сверху (рис. 27). Эпюры сигналов, иллюстрирующих этот метод, приведены на рис. 28. Из рисунка видно, что в момент наступления паузы одного сигнала — положительных импульсов, через микроамперметр протекает ток другого (противофазного) сигнала — отрицатель-

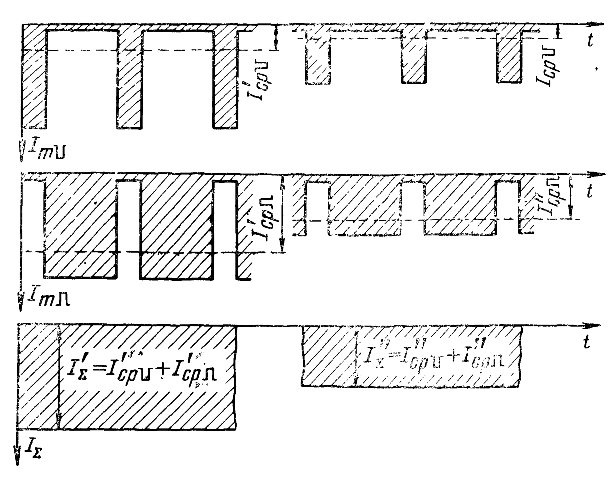


Рис. 28. Эпюры токов, иллюстрирующих работу измерителя амплитуды.

ных импульсов, которые являются токовыми $(I_{m\sqcup})$ и наоборот. Только в этом случае ток несет пауза положительных импульсов $(I_{m\sqcap})$. В результате через микроамперметр протекает ток, значение которого равно амплитуде импульсов I_{Σ}. Переходные процессы, протекающие при смене токовых сигналов, настолько малы по длительности, что полностью сглаживаются за счет большой постоянной времени измерительного прибора и практически не влияют на его показания.

Если синхронно изменять амплитуду суммируемых сигналов (рис. 28), то пропорционально будет изменяться и величина тока через микроамперметр (I_{Σ}). При изменении частоты следования или скважности импульсов величина тока через микроамперметр должна оставаться постоянной. Последнее выполнимо, если соблюдается соотношение

$$I_{m\sqcap}=I_{m\sqcup}=U_{m\sqcap}/(R_{с\sqcap}+r_{пр})=U_{m\sqcup}/(R_{с\sqcup}+r_{пр}),$$

где $r_{пр}$ — внутреннее сопротивление измерительного прибора; $R_{с\sqcap}$ и $R_{с\sqcup}$ — суммирующие сопротивления. Если это условие не будет выполнено, то при изменении частоты или длительности импульсов даже при постоянной их амплитуде величина суммарного тока будет изменяться (рис. 29), что приведет к неправильным показаниям

прибора. Необходимое симметрирование схемы в данном случае осуществляется потенциометром R_{45}, позволяющим выровнять токи $I_{m\sqcup}$ и $I_{m\sqcap}$.

Изложенный метод измерения позволяет контролировать амплитуду импульсов практически любой частоты и скважности. Сигналы для измерения снимаются с

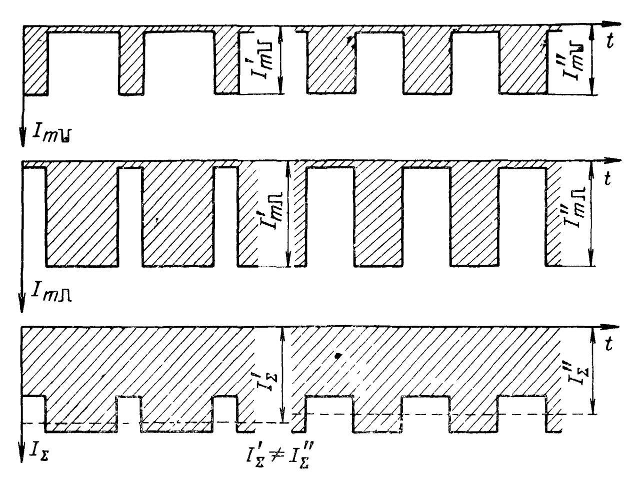


Рис. 29. Эпюры токов, иллюстрирующих возникновение погрешности в измерителе амплитуды.

движков сдвоенного потенциометра $R_{41а}$ и $R_{41б}$. Резистор R_{40} играет роль ограничительного сопротивления. Плавная подгонка чувствительности микроамперметра в режиме измерения амплитуды импульсов осуществляется потенциометром R_{38}.

С помощью измерительного прибора $ИП_1$ осуществляются также измерение и установка длительности импульсов. Переход на этот режим производится переключателем $П_4$. Измерение происходит следующим образом. Для каждого поддиапазона длительностей выходных импульсов (5—50 *мксек*, 50 *мксек* —0,5 *мсек*, 0,5—5 *мсек* и 5—50 *мсек*) предварительно устанавливается соответствующая частота следования: 10 *кгц* ($T=$ 100 *мсек*), 1 *кгц* ($T=1$ *мсек*), 100 *гц* ($T=10$ *мсек*) и 10 *гц* ($T=10$ *мсек*). Как отсюда видно, наибольшая длительность импульсов на каждом поддиапазоне равна половине периода установленной частоты (скважность равна двум). Это будет со-

ответствовать максимальному показанию прибора, на который эти импульсы через ограничительный резистор R_{39} поступают для осреднения с коллектора транзистора T_6. Измерение тока в данном случае осуществляется относительно минуса шины питания. При уменьшении длительности импульсов пропорционально уменьшится среднее значение тока через микроамперметр. Соответственно этому будут изменяться и его показания. Шкалу прибора в этом случае можно проградуировать в значениях длительности. После установления нужной длительности импульсов ЗГ перестраивается на рабочую частоту.

Источник питания прибора состоит из трансформатора $Тр_1$, выпрямительного моста ($Д_2$—$Д_5$) и компенсационного стабилизатора напряжения (T_8—T_{10}). Схема стабилизатора аналогична примененной в частотомере (рис. 2), где описан и его принцип действия.

Конструкция и детали. Конструктивно генератор выполнен в виде настольного прибора (рис. 30) размером

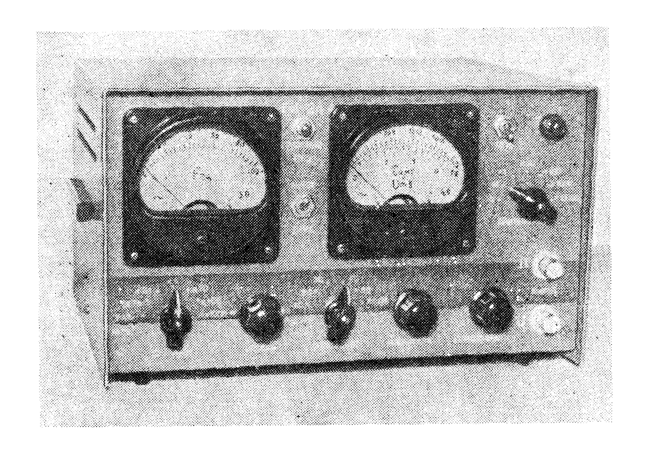


Рис. 30. Внешний вид генератора импульсов.

260×250×200 *мм* с вертикальной передней панелью, на которой размещены следующие органы управления и индикации: потенциометры установки частоты следования импульсов $R_{4а}$, $R_{4б}$, длительности $R_{27а}$, $R_{27б}$ и ампли-

туды $R_{41а}$, $R_{41б}$, переключатели поддиапазонов частоты $П_1$, длительности импульсов $П_2$, режимов измерения $П_4$ и ослабления амплитуды $П_5$, стрелочные приборы измерения амплитуды и длительности импульсов $ИП_1$ и частоты $ИП_2$, а также кнопка разового пуска $К_{н1}$, выходные коаксиальные разъемы, тумблер включения сети $В_{к1}$ и сигнальная лампа $Л_1$. К передней панели с помощью металлических стоек крепятся три монтажные платы размером 135×240 *мм*. На первой плате размещены трансформатор $Тр_1$ и стабилизатор напряжения, на второй — ЗГ, триггер Шмидта и ждущий мультивибратор, на третьей — усилители мощности и переходные конденсаторы $С_{26}$ и $С_{27}$.

В левой части прибора размещен сдвоенный потенциометр $R_{4а}$, $R_{4б}$ типа ПТП-2Б. Можно применить сдвоенный потенциометр типа СПIII вида В сопротивление 15—20 *ком*. В данном случае эта замена приведет к некоторой неточности настройки за счет люфта между осями потенциометров, а также к повышенной нестабильности частоты. Необходимо подобрать эту пару потенциометров с наиболее лучшим согласованием между собой по зависимости «угол поворота — сопротивление». Для размещения потенциометра типа ПТП-2Б во всех монтажных платах сверлится отверстие диаметром 80 *мм*. Потенциометр снабжен верньерным устройством с передаточным числом 1 : 6. Сдвоенные потенциометры $R_{27а}$, $R_{27б}$ и $R_{41а}$, $R_{41б}$ — типа СПIII.

Точность подбора частотозадающих конденсаторов $С_3$—$С_9$ должна быть не ниже 2%, а резисторов R_{42}—R_{44} и R_{46}—R_{48}, входящих в состав делителей амплитуды выходных импульсов, не более 3%. Измерительный терморезистор R_{12} можно взять любой из серии Т8 или Т9.

В качестве измерительного прибора $ИП_2$ применен магнитоэлектрический микроамперметр типа Ц-29 чувствительностью 100 *мка*. Прибор имеет две шкалы: первая проградуирована в значениях длительности импульсов 0—50 *мксек*, вторая — в значениях амплитуды 0—15 *в*. Можно применить любой другой микроамперметр чувствительностью 100—200 *мка*.

В качестве транзисторов $Т_1$—$Т_6$ могут быть применены маломощные низкочастотные германиевые транзисторы соответствующей проводимости, имеющие верхнюю граничную частоту усиления $f_\alpha > 1$ *Мгц*, статический коэффициент усиления по току $\beta_{ст} > 30$ и напряжение кол-

лектор — эмиттер $U_{к.э} > 20$ *в*. Транзисторы T_7, T_{11} и T_{13} должны иметь граничную частоту $f_\alpha > 10$ *Мгц*. Транзисторы T_{12} и T_{14} могут быть любые из серии П605—П607. Транзисторы T_8 и T_{10}, входящие в состав источника питания, могут быть любые низкочастотные с $\beta_{ст} > 30$ и $U_{к.э} > 15$ *в*. Транзистор T_9 — любой из серии П213—П217, имеющий $\beta_{ст} > 40$. Транзисторы T_9, T_{12} и T_{14} должны иметь радиаторы, каждый с теплообменной поверхностью не менее 200 *см*^{2}.

Конструкция и моточные данные трансформатора $Тр_1$ источника питания генератора аналогичны примененному в генераторе сигналов, кроме обмотки *III*, которая должна иметь 260 витков.

Настройка и калибровка прибора. Перед включением генератора в сеть необходимо тщательно проверить правильность монтажа. Это позволит устранить допущенные ошибки и в значительной степени упростить процесс настройки.

Для настройки генератора импульсов необходимы следующие приборы: авометр, ламповый вольтметр переменного тока, позволяющий измерять сигналы частотой до 100 *кгц*, и осциллограф. Верхняя граница полосы пропускания последнего должна быть не менее 1 *Мгц*, чтобы обеспечить достаточно правильное изображение фронтов и срезов импульсов.

Налаживание следует начинать с проверки выпрямителя $Д_2$—$Д_5$ и подбора соответствующего режима стабилизатора напряжения T_8—T_{10}. Последнее сводится к установлению выходного напряжения 16 *в*, которое регулируется резистором R_{35}.

Налаживание остальной части импульсного генератора начинают с проверки соответствия режимов питания транзисторов напряжениям, указанным в схеме (рис. 25). Нормальным считается режим, отличающийся от приведенного на схеме не более чем на $\pm 10\%$. При проверке режимов транзисторов по постоянному току необходимо отключить цепь положительной обратной связи ЗГ, установив переключатель $П_1$ в положение *Одиночный запуск*. Если режимы транзисторов T_1—T_3 ЗГ отличаются от указанных в схеме более чем на $\pm 10\%$, то подбором резистора R_1 устанавливаются необходимые напряжения на электродах.

Методика статической проверки работоспособности триггера Шмидта T_4, T_5 и ждущего мультивибратора T_6,

T_7 даны в описании конструкции частотомера (см. рис. 2). Проверка работы и настройка каскадов по переменному току производятся с помощью осциллографа и лампового вольтметра переменного тока. Переключатель $П_1$ необходимо установить в положение «×1» (поддиапазон 10—100 *гц*). Осциллограф и вольтметр подключить к эмиттеру транзистора T_3. С помощью потенциометра R_{10} выбрать оптимальную глубину стабилизирующей обратной связи, при которой изменение выходного напряжения при перестойке по всему поддиапазону не должно превышать ±5%. Методика настройки ЗГ рассмотрена в описании генератора сигналов (рис. 20).

Шкалы частот прибора градуируются с необходимой точностью на поддиапазонах 10—100 *гц* и 10—100 *кгц* при помощи контрольного генератора. На поддиапазонах 100 *гц* — 1 *кгц* и 1 — 10 *кгц* используется первая шкала. Точные границы этих поддиапазонов, соответствующих этой шкале, устанавливаются посредством подбора попарно емкостей конденсаторов C_4, C_5 и C_6, C_7.

После этого осциллограф подключают к коллектору транзистора T_5. Задающий генератор настраивается на частоту 100 *гц*. Изменяя соотношение сопротивлений плеч делителя R_{13}, R_{14}, стоящего в цепи эмиттера транзистора T_3, следует установить такое переменное напряжение на входе триггера Шмидта, при котором обеспечивался бы его надежный запуск. Далее, подбирая сопротивление резистора R_{17}, по осциллографу устанавливают такую длительность выходных импульсов на коллекторе транзистора T_5, которая была бы равна паузе. Следует отметить, что изменение сопротивления резистора R_{17} приводит к смещению порога срабатывания триггера Шмидта, поэтому эту операцию следует осуществлять совместно с регулировкой делителя R_{13}, R_{14}. Отклонение длительности импульсов относительно паузы на остальных поддиапазонах должно составлять не более ±5%. Если на высокочастотном участке поддиапазона 10—100 *кгц* это отклонение больше, то следует подобрать емкость конденсатора C_{12}. Увеличение емкости приводит к увеличению длительности импульса, уменьшение — соответственно к уменьшению. Осциллограммы переменных сигналов, действующих на электродах ЗГ и триггера, показаны на рис. 31.

Следующим этапом в налаживании прибора является настройка блока формирования выходных импульсов.

С помощью переключателя $П_1$ устанавливается поддиапазон 10—100 *кгц*, а частота следования импульсов — 10 *кгц*. Переключатель $П_2$ перевести в положение, соответствующее поддиапазону 5—50 *мксек*. Осциллограф подключается к коллектору транзистора T_6 или T_7. На экране должны наблюдаться соответственно импульсы положительной или отрицательной полярности. На рис. 31 приведены осциллограммы этих сигналов. Движок сдвоенного потенциометра R_{27} должен быть при этом пример-

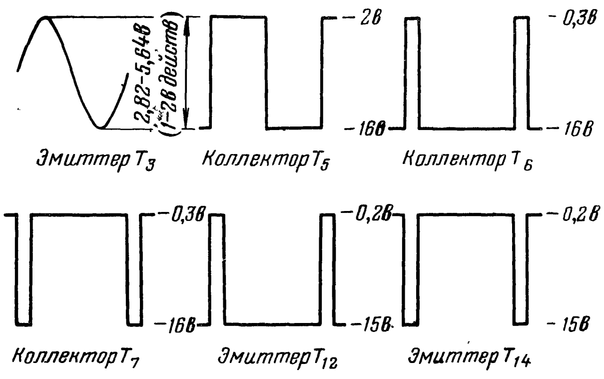


Рис. 31. Осциллограммы напряжений на электродах транзисторов генератора импульсов.

но в среднем положении. При вращении движка этого потенциометра длительность импульсов должна изменяться. Перекрытие по поддиапазону должно быть не менее 10. Затем следует перевести движок потенциометра R_{27} в положение, соответствующее максимальной длительности, и подбором емкости времязадающего конденсатора C_{17} установить длительность импульсов, равную паузе. При частоте следования 10 *кгц* длительность импульсов 50 *мксек*. Устанавливая затем поочередно частоту следования 1 *кгц*, 100 *гц* и 10 *гц*, а поддиапазон длительности импульсов соответственно 50 *мксек*-0,5 *мсек*, 0,5-5 *мсек*, 5-50 *мсек*, подбором емкостей времязадающих конденсаторов C_{18}, C_{19} и C_{20} установить в каждом случае длительность импульсов, равную паузе. Эта настройка обеспечит длительность импульсов на верхних участках указанных поддипазонов 0,5, 5 и 50 *мсек*.

При исправных деталях и правильно выполненном монтаже усилитель мощности в настройке не нуждается.

На соответствующих выходах его должны наблюдаться импульсы отрицательной и положительной полярности, амплитуда которых регулируется сдвоенным потенциометром R_{41} и переключателем $П_5$. Осциллограммы сигналов на электродах транзисторов усилителей мощности показаны на рис. 31.

При установлении переключателем $П_2$ в положение ≪*М*≫ («меандр») на выходе генератора должны наблюдаться импульсы, скважность которых равна 2 во всем диапазоне частот.

Заключительным этапом налаживания является настройка цепей измерения длительности и амплитуды импульсов. Для этого необходимо установить переключатель $П_4$ в положение ≪$\tau_{имп}$≫, а частоту следования импульсов 10 *кгц*. По осциллографу установить длительность импульсов, равную паузе. Посредством подбора ограничительного сопротивления R_{39} установить стрелку измерительного прибора примерно на отметку 50 (движок потенциометра R_{37} должен быть при этом в среднем положении). Окончательная подгонка показаний прибора на указанную отметку осуществляется регулировкой потенциометра R_{37}. Для других поддиапазонов границы измерения устанавливаются автоматически.

Далее установить переключателем $П_4$ режим измерения амплитуды импульсов. Движки потенциометров R_{38} и R_{45} перевести в среднее, а потенциометра R_{41} в верхнее (по схеме) положения. При частоте следования импульсов 10 *кгц* и длительности 50 *мксек* (скважность равна 2) подбором резистора R_{40} установить стрелку измерительного прибора приблизительно на отметку 15. Точную подстройку осуществить потенциометром R_{38}. Затем установить длительность выходных импульсов 5 *мксек* при той же частоте следования. Если стрелка измерительного прибора отклонилась в ту или другую сторону относительно отметки 15, установить ее на прежнее значение симметрирующим потенциометром R_{45}. На этом настройку прибора можно считать законченной.

Правила работы с прибором. При работе с генератором импульсов следует правильно пользоваться переключателем $П_4$ (длительность импульсов). При скважности выходных импульсов, меньших 1,2—1,3, блок формирования (ждущий мультивибратор) переходит в режим деления, что приводит к изменению частоты. Если нет необходимости иметь определенную длительность импульсов,

для удобства в работе следует пользоваться режимом «меандр», обеспечивающим постоянную скважность во всем диапазоне частот.

Генератор импульсов с частотомером. Градуировка шкалы частот любого измерительного генератора определяется законом изменения величины регулируемого элемента — блока переменных резисторов или конденсаторов. Как правило, этот закон носит нелинейный характер, что вызывает сложность при нанесении на шкалу градуировочных меток. Применение в любительских конструкциях генераторов сдвоенных потенциометров типа СПIII, имеющих большой допуск на номинал и точность согласования, а также люфт между осями, еще более осложняет задачу изготовления шкалы и снижает точность отсчета показаний. В ряде случаев приходится градуировать шкалу для каждого поддиапазона, что увеличивает отмеченные недостатки.

Применение в данном случае встроенного частотомера со стрелочным индикатором позволяет повысить точность установки генерируемой частоты и значительно упростить изготовление шкалы, так как в качестве последней можно использовать разметку, уже имеющуюся на стрелочном приборе. Шкала в этом случае получается единой для всех поддиапазонов. Строгого совмещения границ поддиапазонов на одной шкале не требуется, так как частотомер измеряет непосредственное значение частоты.

На рис. 32 приведены принципиальная схема частото-

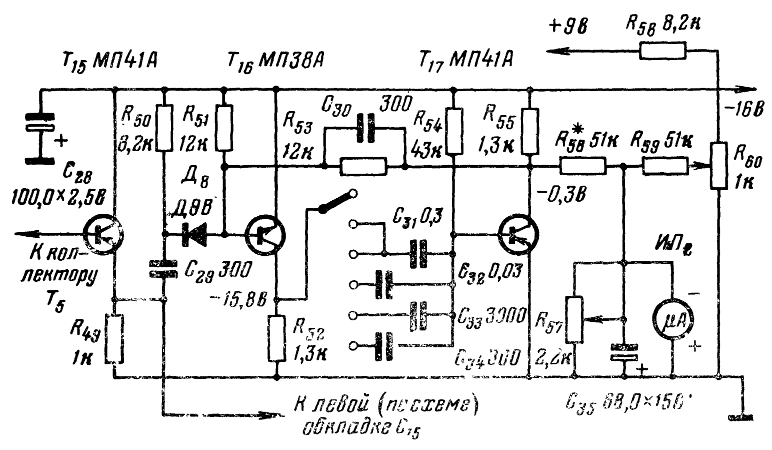


Рис. 32. Принципиальная схема частотомера для генератора импульсов.

мера, который можно использовать в данном генераторе. Принцип действия и методика налаживания данного устройства приведены в описании частотомера.

Встроенный частотомер позволяет измерять частоту на всех четырех поддиапазонах с точностью ±3%. Переключение поддиапазонов измерения осуществляется совместно с переключением поддиапазонов генерируемой частоты. Для этого необходима дополнительная плата на переключателе $П_1$. Регулировка чувствительности измерительного прибора осуществляется потенциометром R_{57}, электрическая установка нуля — потенциометром R_{60}. Эти ручки управления можно вывести под шлиц на переднюю панель или установить непосредственно на монтажной плате. Для получения положительного смещения +9 *в* можно использовать выпрямитель и параметрический стабилизатор, примененные в частотомере (см. рис. 2), собранные на диодах $Д_4$ и $Д_9$. Калибровку частотомера можно осуществить по частоте сети 50 *гц*. Для этого надо использовать уже имеющийся в генераторе импульсов режим *Сеть* (переключатель $П_1$).

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Прибор предназначен для обеспечения питания различных цепей радиоаппаратуры, выполненных на транзисторах. Источник питания обеспечивает на выходе постоянное стабилизированное напряжение от 10 до 30 *в* и от 2 до 15 *в* (два источника) с плавным перекрытием по диапазону при токе нагрузки до 300 *ма*, а также постоянное фиксированное стабилизированное напряжение 12, 16 или 20 *в*, при токе нагрузки до 1 *а*.

Нестабильность выходных напряжений при изменении напряжения сети на ±10% и тока в нагрузке от нуля до максимально допустимого не превышает на выходах 10—30 *в* и 2—15 *в* — 0,3%, на выходе 12 (16, 20) *в* — 0,5%.

Величина пульсаций выходных стабилизированных напряжений при максимально допустимом токе в нагрузке не превышает на выходах 10—30 *в* и (2—15) — 5 *мв*, на выходе 12 (16, 20) *в* — 10 *мв*.

Все стабилизаторы имеют электронную защиту от перегрузок и коротких замыканий. Предусмотрена возможность контроля напряжений и токов нагрузки.

Электрическая принципиальная схема. Учитывая, что при исследовании разнообразных схем на транзисторах радиолюбителю часто необходимо иметь одновременно до двух-трех источников питания различных напряжений и полярностей, а также то, что в одном стабилизаторе конструктивно трудно совместить широкий диапазон регулирования выходных напряжений при большом токе

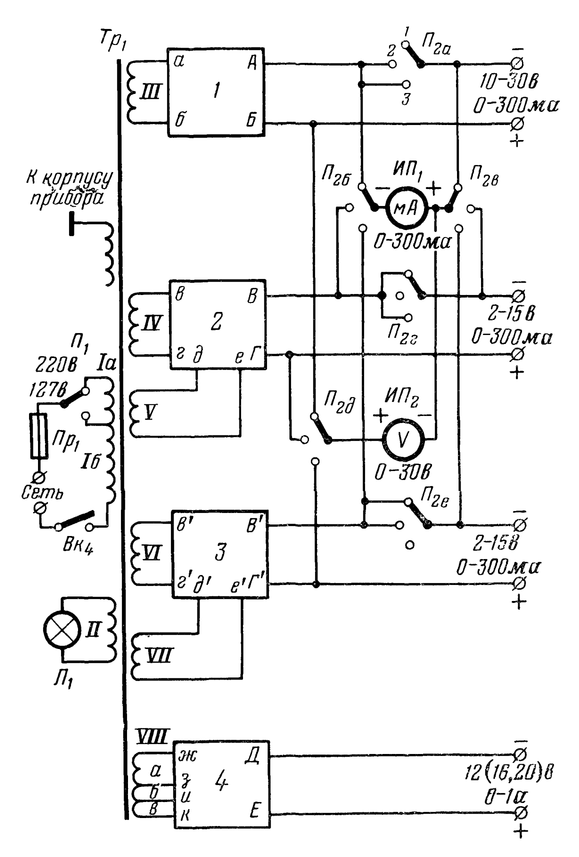


Рис. 33. Функциональная схема источника питания.

в нагрузке, в источник питания включено четыре автономных стабилизатора (рис. 33).

Первый стабилизатор предназначен для питания цепей радиоустройств повышенным напряжением. Он обес-

печивает выходное напряжение от 10 до 30 *в* при токе в нагрузке до 300 *ма.* Схема данного стабилизатора напряжения (рис. 34) представляет собой компенсационный стабилизатор с последовательно включенным регулирующим элементом. Схему можно резделить на 6 функциональных узлов, как это показано на блок-схеме

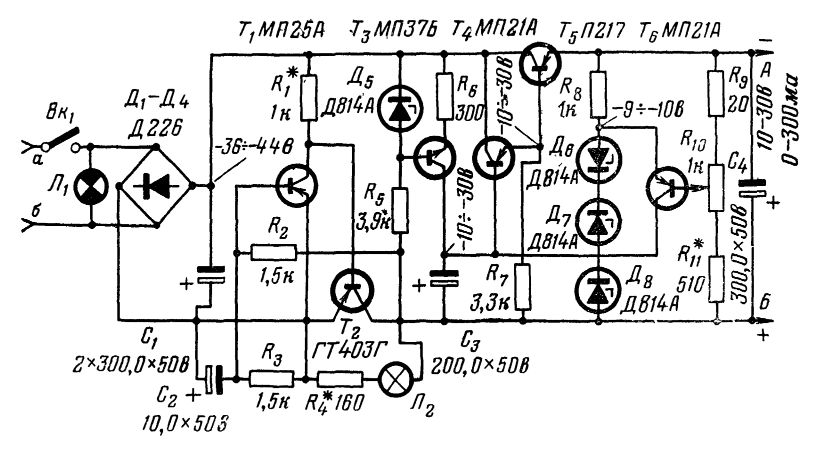


Рис. 34. Принципиальная схема стабилизатора *1* на напряжение 10—30 *в* и ток до 300 *ма.*

(рис. 35). Принцип работы стабилизатора основан на сравнении части выходного напряжения с падением напряжения на опорном элементе; разность между этими напряжениями усиливается и используется для управления последовательным регулирующим элементом. Воздействие на регулирующий элемент осуществляется через цепь ООС, в которую входят: делитель выходного напряжения R_9—R_{11}, сравнивающий и усилительный элемент (T_6) и источник опорного напряжения ($Д_6$, $Д_8$).

Схема (рис. 34) работает следующим образом. Часть выходного напряжения с переменного делителя — потенциометра R_{10}, включенного на выходе стабилизатора, подается на сравнивающий элемент (транзистор T_6), который представляет собой однотактный усилительный каскад, собранный по схеме с общим эмиттером. Это напряжение сравнивается с эталонным, которое создается кремниевыми стабилизаторами $Д_6$—$Д_8$, в результате этого возникает сигнал (ток коллектора транзистора T_6), пропорциональный разности этих напряжений. Одновременно транзистор T_6 выполняет функцию усилителя

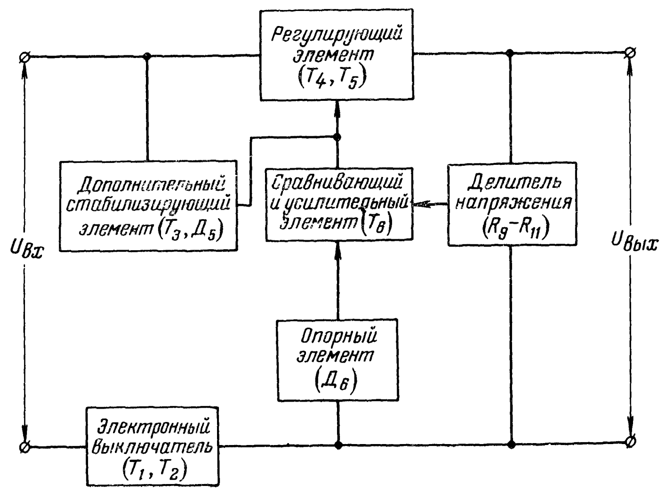


Рис. 35. Структурная схема стабилизатора на напряжение 10—30 *в*.

постоянного тока, который увеличивает разностный сигнал до величины, достаточной для управления регулирующим элементом.

Выходной разностный сигнал воздействует на исполнительный регулирующий элемент стабилизатора — составной эмиттерный повторитель на транзисторах T_4 и T_5. Внутреннее сопротивление регулирующего элемента (транзистор T_5) при этом меняется, вследствие чего возникает изменение напряжения, компенсирующее колебания напряжения на входе стабилизатора. При увеличении входного напряжения усиленный разностный сигнал воздействует на регулирующий элемент таким образом, что падение напряжения на нем увеличивается на величину, примерно равную увеличению входного напряжения. При уменьшении входного напряжения происходит уменьшение напряжения на регулирующем элементе. Таким образом, на выходе стабилизатора напряжение остается практически постоянным.

Для улучшения выходных параметров стабилизатора в схему введен дополнительный стабилизирующий каскад, выполненный на транзисторе T_3 и стабилитроне $Д_5$. Дополнительный стабилизирующий каскад поддерживает постоянным ток коллектора усилителя постоянного тока T_6 и ток смещения в базе регулирующего элемента

при изменении входного напряжения и при наличии пульсаций на конденсаторе C_1. Кроме того, ток коллектора транзистора T_3 не зависит от изменения напряжения $U_{б.э}$ транзистора T_4, обусловленного колебаниями температуры или тока нагрузки. Таким образом, дополнительный стабилизирующий каскад позволяет уменьшить напряжение пульсаций и выходное сопротивление стабилизатора.

Использование стабилизатора $Д_5$ в режиме прямого тока позволяет работать данному типу стабилизирующего элемента при низких входных нестабилизированных напряжениях. Кроме того, стабилитрон $Д_5$ обеспечивает отрицательный ТКН, необходимый для компенсации коэффициента $\Delta U_{э.б.}/\Delta T$ транзистора T_3.

Основным звеном, определяющим степень стабильности работы схемы при изменении температуры, является источник опорного напряжения, состоящий из кремниевых стабилитронов $Д_6$—$Д_8$ и резистора R_8. Стабилитрон $Д_6$ работает в режиме стабилизации (обратная проводимость), а стабилитроны $Д_7$ и $Д_8$ — в режиме прямой проводимости. Такое включение стабилитронов объясняется тем, что при изменении температуры напряжение на стабилитроне $Д_6$ повышается, а на стабилитронах $Д_7$ и $Д_8$ уменьшается. Происходит взаимная компенсация температурных изменений. Для более точной компенсации в схеме увеличивается число стабилитронов, включенных в прямом направлении, или выбирают стабилитроны с большим напряжением стабилизации.

Стабилизатор снабжен электронным предохранителем для защиты от перегрузок и коротких замыканий (транзисторы T_1 и T_2). Принцип действия устройства защиты следующий. Когда ток нагрузки меньше допустимого ($R_н > R_{н.макс}$), транзистор T_1 закрыт, T_2 — открыт и насыщен. Падение напряжения на участке эмиттер — коллектор транзистора T_2 составляет несколько десятых вольта. В случае перегрузки ($R_н < R_{н.макс}$) напряжение между эмиттером и коллектором транзистора T_2 возрастает, что вызывает появление тока в цепи базы транзистора T_1. Последний начинает открываться, а T_2 — закрываться. Это ведет к еще большему росту напряжения $U_{к.э}$ транзистора T_2. Наличие ПОС (через резистор R_2) делает этот процесс лавинообразным, вследствие чего устройство мгновенно переходит во второе устойчивое состояние: T_1 — открыт и насыщен, T_2 — закрыт. Большая часть на-

пряжения выпрямителя будет приложена к лампе $Л_2$, которая служит индикатором перегрузки. При коротком замыкании на выходе стабилизатора ток через регулирующий транзистор T_5 будет определяться током индикаторной лампы и открытого транзистора T_1. Для установки электронного предохранителя в рабочее положение необходимо на короткое время отключить выпрямитель и стабилизатор от обмотки трансформатора тумблером $Вк_1$.

Конденсатор C_3 предназначен для устранения срабатывания предохранителя при включении стабилизатора на емкостную нагрузку. В момент включения стабилизатора тумблером $Вк_1$ напряжение на базе регулирующего транзистора возрастает не скачком, а по экспоненциальному закону, вследствие чего и напряжения на выходе формируются тоже по экспоненте. Емкость конденсатора C_3 в 200 *мкф* позволяет работать на емкостную нагрузку в 2 000 *мкф*. Конденсатор C_2 предназначен для устранения срабатывания электронной защиты при кратковременных импульсных перегрузках.

Плавная регулировка выходного напряжения в заданных пределах осуществляется потенциометром R_{10}. Лампочка накаливания $Л_1$ служит для индикации включения стабилизатора, $Л_2$ — для индикации перегрузок.

Стабилизаторы *2* и *3* (рис. 33) предназначены для питания низковольтных устройств на транзисторах и цепей смещения. Они имеют одинаковую схему, в основном аналогичную схеме стабилизатора *1*, и обеспечивают выходное напряжение от 2 до 15 *в* при токе нагрузки от 0 до 300 *ма*. Схема стабилизатора представлена на рис. 36. Отличительной особенностью данной схемы является то, что эталонное напряжение формируется стабилитронами $Д_{16}$—$Д_{19}$ от самостоятельного источника, что позволяет осуществить регулировку выходного напряжения ниже уровня стабилизации опорного диода. Для увеличения коэффициента стабилизации применено двухкаскадное соединение опорных диодов. Во втором каскаде осуществлена температурная компенсация.

Стабилизатор *4*, принципиальная схема которого приведена на рис. 37, предназначен для питания мощных транзисторных устройств. Он имеет фиксированную установку выходного напряжения: 12, 16 или 20 *в* при токе в нагрузке от 0 до 1 *а*. Построение схемы стабилизатора *4* аналогично первому (рис. 34). Отличием является на-

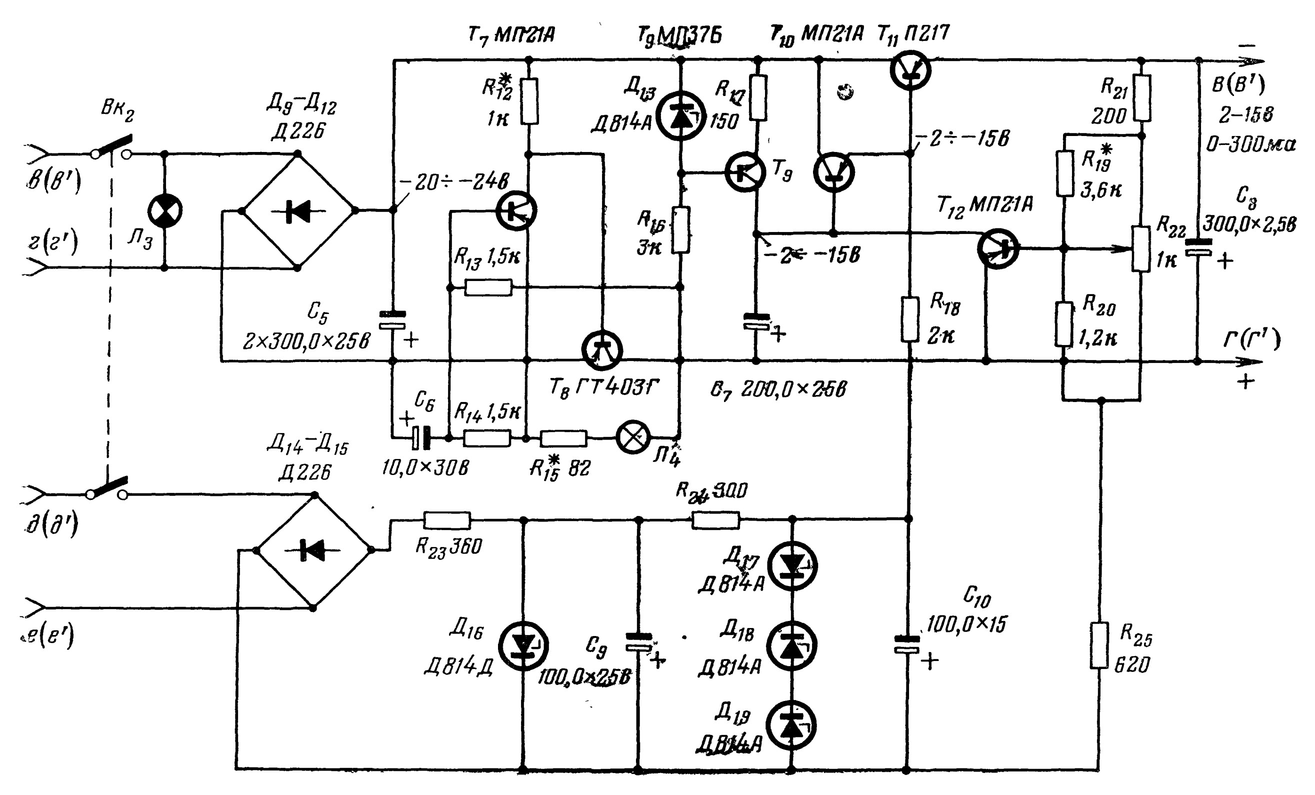


Рис. 36. Принципиальная схема стабилизаторов *2* и *3* на напряжение 2—15 *в* и ток до 300 *ма*.

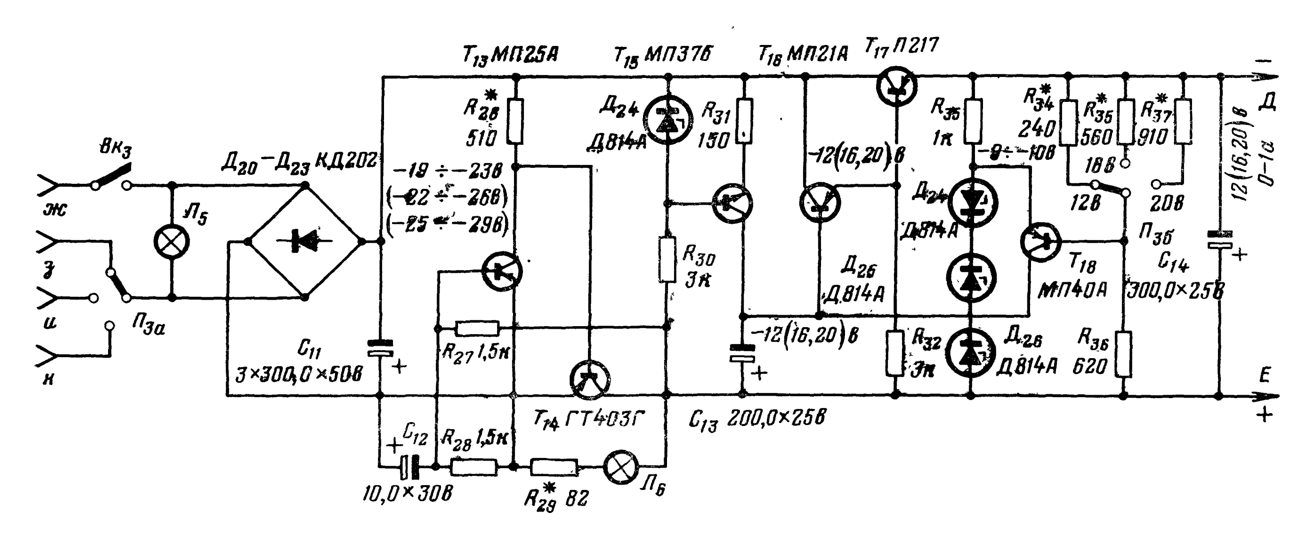


Рис. 37. Принципиальная схема стабилизатора 4 на напряжение 12 (16, 20) *в* и ток до 1 *а*.

личие переключателя выходного напряжения $П_2$. Для уменьшения мощности, рассеиваемой на регулирующем транзисторе $Т_{17}$ на пределах 16 и 12 *в*, осуществляется соответствующее переключение переменного напряжения, поступающего с трансформатора $Тр_1$ на выпрямитель.

Для контроля выходных напряжений и токов цепей нагрузки стабилизаторов *1*, *2* и *3* в схему источника питания введены вольтметр и миллиамперметр с пределами измерения 0—30 *в* и 0—300 *ма* соответственно (рис. 33). С помощью переключателя $П_3$ осуществляется одновременное переключение вольтметра и миллиамперметра к каждому из выходов.

Конструкция и детали. Источник питания заключен в прямоугольный корпус с вертикальной передней панелью. Корпус из дюралюминия толщиной 1,5 *мм* и имеет размеры 260×150×200 *мм*. Передняя панель изготовлена из дюралюминия толщиной 3 *мм* (рис. 38).

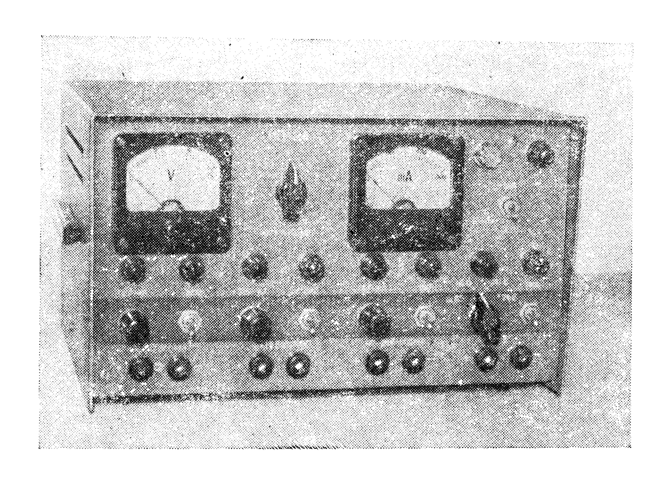


Рис. 38. Внешний вид транзисторного источника питания.

На передней панели размещены: выходные зажимы стабилизаторов, индикаторы напряжения и тока $ИП_1$ и $ИП_2$, выключатели стабилизаторов и сети $Вк_1$—$Вк_4$, ручки регулировки выходного напряжения R_{10}, R_{22} и R'_{22}, переключатели измерительных приборов $П_2$ и выходного напряжения стабилизатора *4* ($П_3$), а также индикаторные лампы включения стабилизаторов $Л_1$, $Л'_3$, $Л_3$ и $Л_5$, сети 50 *гц* $Л_7$ и перегрузки $Л_2$, $Л_4$, $Л'_4$ и $Л_6$.

Детали источника питания смонтированы на трех гетинаксовых платах толщиной 2 *мм* и размером 240×135 *мм*. На одной плате размещены силовой трансформатор Tp_1 и все выпрямительные мосты стабилизаторов, на второй и третьей платах размещены соответственно стабилизаторы *1, 2* и *3, 4*. С помощью металлических стоек монтажные платы крепятся к передней панели.

В качестве регулирующих транзисторов T_5, T_{11} и T_{17} можно использовать любые транзисторы из серии П213—П217, имеющие статический коэффициент усиления $\beta_{ст}>50$. Транзисторы T_3, T_4, T_9, T_{10}, T_{15} и T_{16} должны иметь допустимое напряжение между коллектором и эмиттером $U_{к.э}>30$ *в*, а транзисторы T_6, T_{12} и T_{18}— $U_{к.э}>20$ *в*. Коэффициент усиления транзисторов должен быть не менее 30. В электронных выключателях необходимо использовать транзисторы, имеющие допустимое напряжение $U_{к.э}$ не менее максимального напряжения, развиваемого после соответствующих выпрямительных мостов. Статический коэффициент усиления транзисторов T_2, T_8, T_{14} должен быть не менее 50.

В конструкции использованы индикаторные лампы СМ37 (27*в*, 40 *ма*) и измерительные приборы $ИП_1$ и $ПП_2$ типа М4202. В качестве индикаторных ламп можно взять лампы 26 *в*×0,15 *а* или коммутаторные на 24 *в*.

Регулирующие транзисторы T_5 и T_{11} установлены на дюралюминиевых ребристых радиаторах с общей теплообменной поверхностью 600 *см*^{2}. Для транзистора T_{17} необходим радиатор с теплообменной поверхностью не менее 1 500 *см*^{2}.

Трансформатор источника питания намотан на тороидальном магнитопроводе МТ-10, имеющем наружный и внутренний размеры 80 и 50 *мм* соответственно. Марка стали Э-330. Сетевая обмотка ($I_а$ и $I_б$) имеет 2 000 витков провода ПЭВ-2 0,31 с отводом от 1 160 витков. Обмотка *II* имеет 180 витков провода ПЭВ-2 0,15, обмотка *III*— 300 витков провода ПЭВ-2 0,41, обмотки *IV* и *VI* — по 180 витков провода ПЭВ-2 0,41, обмотки *V* и *VII*—по 200 витков провода ПЭВ-2 0,15 и обмотка *VIII* имеет 260 витков провода ПЭВ-2 1,0 с отводом от 220 и 180 витков. Поверх сетевой обмотки наматывается в один слой экранирующая обмотка проводом ПЭВ-2 0,15.

Настройка прибора. После предварительной проверки правильности произведенного монтажа можно приступить к налаживанию источника питания. Прибор под-

ключается к сети через какой-либо регулирующий автотрансформатор, с помощью которого на сетевой обмотке трансформатора Tp_1 устанавливается напряжение 220 (127) *в*. Налаживание можно начинать с любого стабилизатора, например со стабилизатора *1* (рис. 34). Проверка функционирования и настройка проводятся в такой последовательности: стабилизатор—электронная защита.

Перед настройкой стабилизатора электронную защиту необходимо отключить (замкнуть между собой коллектор и эмиттер транзистора T_2). Переключатель $П_2$ установить в положение «1», соответствующее измерению приборами $ИП_2$ и $ИП_1$ напряжения и тока в нагрузке стабилизатора *1*. При правильном монтаже и исправных деталях стабилизатор сразу же начинает работать, обеспечивая все выходные параметры. При вращении ручки потенциометра R_{10} напряжение, измеряемое вольтметром $ИП_2$, должно изменяться от 9—10 до 27—33 *в*. Установив затем движок потенциометра R_{10} в нижнее (по схеме) положение, подбором сопротивления резистора R_{11} установить напряжение на выходе стабилизатора, равное 30 *в*. В случае, если напряжение не регулируется, необходимо проверить напряжение на диодах $Д_6$—$Д_8$, а также режимы транзисторов, значения которых указаны на принципиальной схеме (рис. 34).

При подключении нагрузки, обеспечивающей ток 300 *ма*, и изменении напряжения сети в пределах ±10% напряжение на выходных зажимах стабилизатора должно изменяться не более чем на 0,3% в диапазоне 10—30 *в*. После включения стабилизатора выходное напряжение должно плавно нарастать и достигать установившегося значения за 1,5—2 *сек*.

Затем необходимо приступить к налаживанию электронной защиты. Резистор R_1 составляется из переменного (1,5—2 *ком*) и последовательно с ним включенного постоянного 300—500 *ом*, необходимого для ограничения тока базы транзистора T_2. К выходным зажимам стабилизатора подключается эквивалент нагрузки, обеспечивающий ток 350—370 *ма*. Движок переменного резистора устанавливается в положение, соответствующее минимальному сопротивлению. Затем, сняв установленную ранее перемычку на транзисторе T_2, постепенно увеличивают сопротивление переменного резистора до того момента, когда срабатывает электронная защита, на что будет указывать загорание индикаторной лампочки $Л_2$.

После этого заменяют переменный резистор постоянным, причем мощность его должна быть не менее 2 *вт*. Следует отметить, что изменение напряжения сети в пределах ±10% вызывает примерно такое же изменение порога срабатывания электронного выключателя. Величину балластного резистора R_4 подбирают такой, чтобы ток через индикаторную лампу $Л_2$ был равен половине ее номинального тока. Это обеспечивает вполне нормальное свечение лампы.

Аналогичным образом настраиваются стабилизаторы *2* и *3* (рис. 36). Верхняя граница выходного напряжения (15 *в*) устанавливается подбором резистора R_{19}, нижняя (2 *в*) — подбором резистора R_{20}.

В стабилизаторе *4* (рис. 37) электронный выключатель настраивается на ток срабатывания 1,15—1,2 *а*. Выходное напряжение 12 (16, 20) *в* устанавливается подбором сопротивления резистора R_{34} (R_{35}, R_{37}).

Правила работы с прибором. Следует учитывать, что при уменьшении выходного напряжения стабилизатора 1, *2* и *3* при значениях токов в нагрузках, близких к максимально допустимым, мощность, рассеиваемая на регулирующих транзисторах и радиаторах, резко возрастает. Поэтому необходимо накладывать ограничение на допустимую мощность рассеивания, учитывая конструкцию и размеры примененных радиаторов.

Измеряя токи, действующие в нагрузках стабилизаторов, встроенным миллиамперметром, при необходимости следует обращать внимание на то, что напряжение на выходных зажимах несколько снижается за счет частичного падения напряжения на обмотке прибора.

Этот недостаток можно устранить, если коммутировать миллиамперметр так, чтобы он включался в токовую цепь до делителя напряжения стабилизатора. В этом случае контур стабилизации будет отрабатывать падение напряжения на измерительном приборе.

Следует также отметить, что введение в схему стабилизаторов конденсатора, позволяющего замедлить нарастание выходного напряжения, увеличивает время переходных процессов при быстром изменении тока нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., «Энергия», 1967.

Терешин Т. М. Радиоизмерения. М., «Госэнергоиздат», 1963.

Фролкин В. Г. Импульсные устройства. М., «Машиностроение», 1966.

Доронкин Е. Ф. Транзисторные генераторы импульсов. М., «Связь», 1968.

Захаров В. К. Электронные схемы автоматики. М., «Энергия», 1967.

Волгин Л. И. Линейные электрические преобразователи для измерительных приборов и систем. М., «Советское радио», 1971.

Шафер Д. В. Регулировка, испытание и проверочные расчеты транзисторных усилителей. М., «Связь», 1971.

Ложников А. П., Сонин Е. К. Каскодные схемы на транзисторах. М. «Энергия», 1969.

Левин Л. И. Полевые транзисторы. М., «Советское радио», 1968.

Баранов Ю. И. Транзисторный частотомер.— «Радио», 1969, № 9.

Баранов Ю. И. Звуковой генератор на полевом транзисторе. — «Радио», 1971, № 1.

Белопольский И. И., Гейман Г. В. и др. Проектирование источников электропитания радиоаппаратуры. М., «Энергия», 1967.

Карпов В. И. Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы напряжения и тока. М., «Энергия», 1967.

Справочник по полупроводниковым диодам и транзисторам. Под общ. ред. К. Н. Горюнова. М., «Энергия», 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 23 коп.